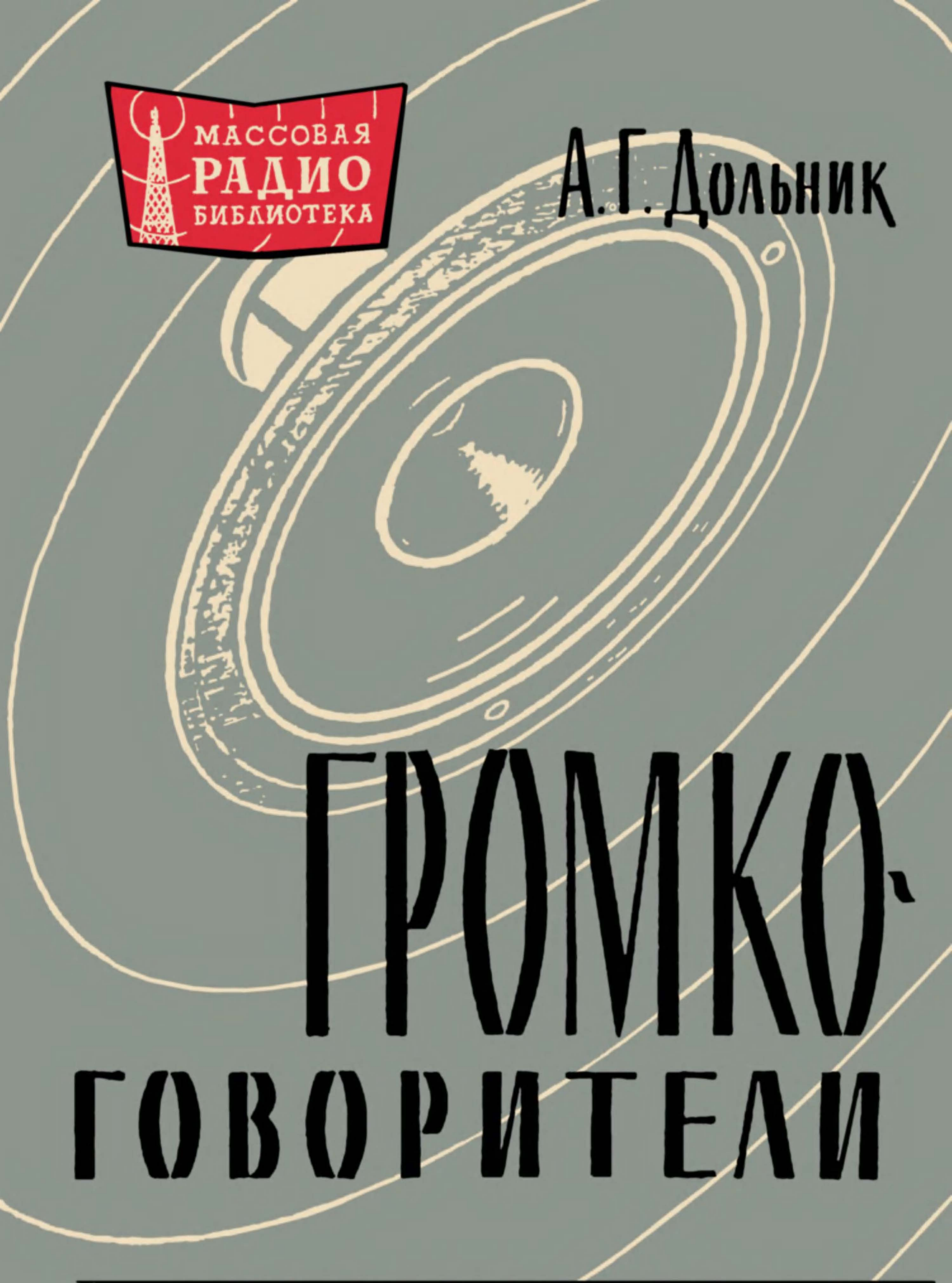


ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 401

А. Г. ДОЛЬНИК

ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Издание третье, переработанное и дополненное



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

В книге содержатся краткие сведения о физической природе звука и физиологии слуха, описываются современные электродинамические громкоговорители, рассматриваются некоторые акустические системы, даются рекомендации по выбору и ремонту громкоговорителей.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

6Ф2.7 *Дольник Анатолий Григорьевич*
Д65 **Громкоговорители.** Изд. 3-е, переработ. и доп. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
88 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 401).
6Ф2.7

Редактор *А. Х. Якобсон* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 15/XII 1960 г. Подписано к печати 25/II 1961 г.
Т-03510 Бумага 84×108 1/32 3,69 печ. л. Уч.-изд. л. 4,9
Тираж 55 000 экз. (1-й завод 10 000 экз.) Цена 20 коп. Зак. 2628

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

Необходимость в настоящем, третьем издании данной книги вызвана тем, что со времени выхода в свет второго издания, которое быстро разошлось, промышленностью разработан и внедряется в производство комплекс новых разнообразных громкоговорителей. Кроме того, определились новые пути использования громкоговорителей в разнообразных системах объемного, псевдостереофонического и стереофонического звучания. Разработана серия групповых громкоговорителей направленного и ненаправленного действия, конструктивно оформленных в виде звуковых колонок, радиальных громкоговорителей, специальных агрегатов и т. п.

Все эти новые данные изложены в настоящем издании наряду с кратким освещением современного развития техники звукоусиления. Некоторые старые разделы были переработаны, а материалы, касающиеся электромагнитных, электростатических, пьезоэлектрических и подобных им громкоговорителей, исключены, так как они в настоящее время почти не применяются.

Значительно сокращены сведения об электродинамических громкоговорителях старых выпусков, хотя они до сего времени находятся в эксплуатации. Эти сведения были широко опубликованы ранее, и повторять их нецелесообразно.

В период, прошедший между выпуском в свет второго издания и подготовкой третьего, были введены в действие новые стандарты, регламентирующие технические условия на громкоговорители массового применения, а также стандарты на акустические единицы; на их основе в текст внесены соответствующие изменения и дополнения.

А. ДОЛЬНИК

ВВЕДЕНИЕ

Из всех электроакустических приборов наиболее широкое распространение имеют громкоговорители. Ими оснащаются радиоприемники, телевизоры, абонентские точки радиотрансляционной сети, студии радиовещания и звукозаписи, системы звукоусиления, оповещания, диспетчерской связи и т. п.

Громкоговорители обладают рядом специфических особенностей, обусловливающих особые требования к конструкциям их внешнего оформления и расположению их в местах установки. От качественных показателей громкоговорителей и эффективности их использования во многом зависит качество звуковоспроизведения.

Для идеального звуковоспроизведения необходимо создать совершенно такое же звуковое поле, какое было перед микрофоном. Распределение и интенсивность (сила) звуковых волн в звуковом поле зависят как от акустической мощности, характеристики направленности и других свойств источника звука, так и от формы, размеров и свойств поверхностей, ограничивающих пространство (объем), в котором образуется звуковое поле. Для достижения идентичности звуковых полей в месте прослушивания и в студии необходимо выполнение многих требований. Повышение требований к качеству звучания приводит к необходимости значительного улучшения электрических и акустических параметров звуковоспроизводящей аппаратуры и в первую очередь громкоговорителей. Это имеет большое значение в связи со значительным расширением объема радиовещания на ультракоротких волнах с частотной модуляцией, увеличением выпуска высококачественных магнитофонных записей и долгоиграющих пластинок, неуклонным повыше-

нием качественных показателей самих магнитофонов и проигрывателей.

Внедрение двухканальных стереофонических систем для воспроизведения граммофонных и магнитофонных записей и систем стереофонического радиовещания также обусловливает ряд специфических требований к звуковоспроизводящей аппаратуре.

Высокое качество звучания в любой системе звуковоспроизведения может быть достигнуто только в случае правильного выполнения всех ее звеньев и особенно ее электроакустической части.

ЗВУК И СЛУХ

При разработке систем высококачественного звуковоспроизведения, в том числе и систем, создаваемых радиолюбителями, необходимо знание физической природы звука и свойств человеческого слуха.

Звук, который мы слышим, возникает в результате механических колебаний частиц окружающего нас воздуха.

Наиболее простой вид колебаний — гармонические колебания. Графически такое колебание представляют в виде синусоиды. Амплитудой колебания называют максимальное значение изменяющейся величины, периодом — время, в течение которого совершается одно полное колебание, и частотой — количество полных колебаний в единицу времени (обычно 1 *сек*). Колеблющиеся частицы в процессе гармонического (синусоидального) движения имеют определенную фазу, т. е. одинаковую стадию движения относительно выбранного начального положения. Расстояние между соседними точками синусоиды с одинаковой фазой называется длиной волны и определяется по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT,$$

где λ — длина волны, *м*;

c — скорость распространения колебаний (для воздуха принимается среднее значение $c = 340$ *м/сек*);

f — частота, *гц*;

T — период, *сек*.

Наиболее часто встречающиеся источники звуков создают колебания с частотами от 30—40 до 15 000—16 000 *гц*. Частота звука определяет высоту тона: при малой частоте звук обладает низким тоном, а при большой — высоким. Мы способны воспринимать звук, вызываемый только колебаниями, частота которых лежит в пределах от 20 *гц* до 15—16 *кгц* (усредненные данные).

Другими величинами, характеризующими звуковые колебания, являются звуковое давление, измеряемое в динах на квадратный сантиметр ($дин/см^2$), а также связанная с ним интенсивность или сила звука, измеряемая в эргах в секунду на квадратный сантиметр ($эрг/сек \cdot см^2$) *.

Наше ухо способно воспринимать как звуковое ощущение давления величиной от нескольких тысячных долей до сотен дин на квадратный сантиметр. Наиболее часто встречающиеся музыкальные и речевые источники звуков развивают давление в пределах 0,0063—20 $дин/см^2$, что соответствует изменению интенсивности или силы звука от $5 \cdot 10^{-7}$ до 5 $эрг/сек \cdot см^2$. Таким образом, наибольшее изменение по давлению составляет 3 170 раз, а по интенсивности 10^7 раз. Отношение максимального и минимального звуковых давлений или интенсивностей, которые может создать какой-либо источник звука, называется динамическим диапазоном этого источника.

Минимальная сила звука, еще отмечаемая ухом в полной тишине, называется порогом слышимости. Последний зависит от частоты, причем область наибольшей чувствительности уха приходится на средние частоты (при 1 000 *гц* порог равен 10^{-9} $эрг/сек \cdot см^2$). Значительно меньшей чувствительностью ухо обладает на нижних (при 100 *гц* порог равен 10^{-5} $эрг/сек \cdot см^2$) и верхних частотах.

---

* Согласно ГОСТ 8849-58 в системе СГС не рекомендуется называть единицу звукового давления 1 $дин/см^2$ баром, что долгое время практиковалось, другого же названия не дается. Широко применявшейся ранее единице интенсивности или силы звука 1 $вт/см^2$ в системе СГС будет соответствовать 1 $эрг/сек \cdot см^2 = 10^{-7}$ $вт/см^2$.

В системе МКС единицей звукового давления служит ньютон на квадратный метр (1 $н/м^2 = 10$ $дин/см^2$) и единицей интенсивности звука — ватт на квадратный метр (1 $вт/м^2 = 10^3$ $эрг/сек \cdot см^2$).

При очень большой силе звука ухо ощущает уже не звук, а боль. Уровень силы звука, при которой ощущение звука переходит в боль, называется порогом болевого ощущения. Этот порог мало зависит от частоты и имеет место при силе звука, равной примерно 10^3 *эрг/сек·см*^{2} (около 120 *дб*).

Таким образом, на средних частотах ухо способно воспринимать звуковые колебания, различающиеся по силе более чем в 10^{12} раз. В области же нижних частот, например на частоте 50 *гц*, этот диапазон уменьшается до 10^7 раз. То же самое наблюдается на верхних частотах.

Субъективной оценкой силы звука является громкость, характеризующая величину слухового ощущения. Однако два тона одинаковой силы, но разной частоты вследствие неравномерной чувствительности уха к различным частотам вызывают ощущение неодинаковой громкости. Зависимость громкости звука от его силы подчиняется основному психофизическому закону, согласно которому с изменением силы звука субъективное ощущение громкости изменяется пропорционально логарифму изменения силы звука. Отсюда становится понятной способность уха реагировать на звуки, различающиеся по своей силе в огромное число раз. Поэтому для определения относительного изменения громкости применяют логарифмическую шкалу (шкалу децибел). Такой же шкалой пользуются для определения силы звука и величины звукового давления.

Анализ способности уха реагировать на громкость в зависимости от частоты и силы звука показывает, что только в пределах 500—5 000 *гц* громкость приблизительно соответствует силе звука. При уменьшении силы звука соотношения эти изменяются, причем ухудшается восприятие нижних и самых верхних частот.

Ухо по-разному воспринимает одновременное воздействие различных звуков. Речь, хорошо слышимая в тишине, может плохо разбираться или становится неслышной при сильном шуме. Такой случай называется маскировкой; звук, который необходимо слышать, называется маскируемым, а заглушающий — маскирующим. Экспериментально доказано, что чем сильнее маскирующий звук и чем ближе совпадают частоты обоих звуков, тем более эффективно действие маскировки. Кроме того,

маскировка более заметна при частоте маскирующего звука, меньшей, чем частота маскируемого звука.

К очень важным свойствам слуха относится способность определять направление на источник звука (локализовать звук). Это свойство основывается на бинауральном эффекте и объясняется нашей способностью различать на низших и средних частотах (до 1 000 *гц*) разницу во времени прихода к обоим ушам звука в одной и той же фазе. На частотах выше 1 000 *гц* сказывается экранирующее влияние головы, из-за которой интенсивность (сила) звука, доходящая до каждого уха, получается неодинаковой, так как расстояние от каждого из них до источника звука зависит от положения головы.

Человек, глухой на одно ухо, с трудом локализует звук. Кроме того, при моноуральном (одноухом) прослушивании звучание источника кажется лишенным глубины (пространственности) и рельефности; это особо заметно в обычных системах радиовещания и звукозаписи, где передача идет по одному каналу и воспринимается как бы одним «ухом» — микрофоном или несколькими микрофонами, работающими на один канал. Системы с двумя и более сквозными каналами звуковоспроизведения обеспечивают пространственное, близкое к естественному звучание программ и называются стереофоническими.

Выше указывалось, что большинство источников звука создает колебания с частотами в пределах 30—16 000 *гц*, однако создать звуковоспроизводящую систему с такой полосой частот не всегда возможно. Поэтому допускается сужение этого диапазона до пределов, при которых искажения еще мало заметны.

В результате многих экспериментов была разработана и предложена следующая классификация звуковоспроизводящих систем по ширине пропускаемого диапазона частот:

высший класс — от 30—40 до 14 000—15 000 *гц* (неискаженное воспроизведение);

первый класс — 50—10 000 *гц* (воспроизведение высококачественное);

второй класс — 100—6 000 *гц* (воспроизведение среднего качества);

третий класс — от 150—200 до 4 000 *гц* (воспроизве-

дение низкого качества — допускается в установках для усиления речей и систем оповещения).

В пределах заданного диапазона усилительная и акустическая аппаратура обычно не обладает равномерной (прямолинейной) частотной характеристикой, т. е. звуки разных частот усиливаются и воспроизводятся неравномерно. Допустимая степень неравномерности частотной характеристики устанавливается на основании экспериментальных данных.

Наряду с обеспечением соответствующего частотного диапазона к звуковоспроизводящей системе предъявляется требование сохранения нормального динамического диапазона, т. е. обеспечения нормального звучания как самых незначительных по мощности звуков (шепот, пианиссимо в музыке и т. п.), так и наиболее мощных, возникающих при исполнении оркестровых и хоровых произведений. Динамический диапазон различных музыкальных произведений, начиная с сольных голосовых и инструментальных и кончая многочисленными оркестровыми и хоровыми, весьма сильно изменяется. Наибольшим динамическим диапазоном обладает симфонический оркестр: отношение наибольшей мощности (силы звука) всего оркестра при самом громком звучании к минимальной мощности скрипки в сольном исполнении достигает 10^7 раз, что соответствует 70 *дб*. Воспроизведение такого большого динамического диапазона сопряжено со значительными трудностями. Верхний предел передаваемых звуковых давлений ограничивается амплитудными характеристиками звуковоспроизводящей аппаратуры, а нижний — шумами, которыми сопровождается всякая передача (фоном питающего напряжения, шумами ламп и микрофонов, шумами в помещении и т. п.). Для восприятия самых слабых звуков необходимо, чтобы их уровень был выше уровня шумов не менее, чем на 15 *дб*. Так, если уровень шума в жилом помещении, где установлен громкоговоритель, составляет 30 *дб*, то минимальный уровень передачи должен быть около 45 *дб*. Тогда при передаче звучания большого оркестра максимальный уровень достигает $45+70=115$ *дб*. Такая громкость, близкая к болевому порогу (120 *дб*), невыносима для слушателей. Поэтому в передающих и звукозаписывающих системах применяется искусственное сужение динамического диапазона.

Исходя из акустических и технико-экономических условий, установлены следующие нормы динамического диапазона: радиовещание и грамзапись — 30—40 *дб*, магнитная запись — 60 *дб*, вещание по кабелю — 50 *дб*, местное звукоусиление — 65 *дб*.

Всякий источник звуковых колебаний обладает направленностью. Чем больше по сравнению с длиной волны излучающая поверхность источника звука, тем острее направленность излучения. Если длина излучае-

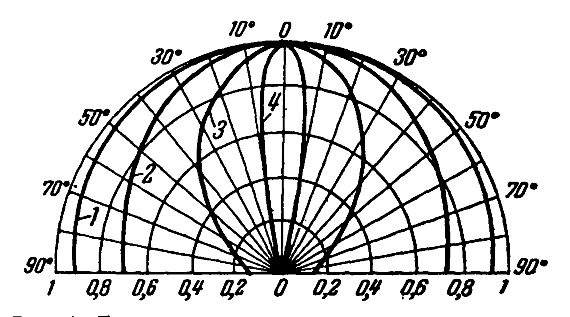


Рис. 1. Теоретические характеристики направленности колеблющегося диска диаметром 21 *см*, помещенного в вырезе очень большого экрана при различных частотах.

1 — при частоте 400 *гц*; *2* — при 800 *гц*; *3* — при 1 600 *гц*; *4* — при 8 000 *гц*.

мой звуковой волны велика (нижние частоты), а размеры излучателя меньше этой длины, то источник звука не обладает направленностью; на верхних же частотах (при малой длине волны) направленность обостряется. На рис. 1 даны теоретические характеристики направленности громкоговорителя диаметром 21 *см*, помещенного в вырезе очень большого экрана. На средних частотах (1 600 *гц*) имеется уже явная направленность, которая на верхних частотах (8 000 *гц*) становится очень острой.

Речь и музыка представляют собой сочетание разнообразных по частоте и силе звуков, все время изменяющихся в процессе звучания. Звук голоса певца или инструмента, воспринимаемый как тон определенной высоты, на самом деле содержит ряд дополнительных тонов (различных по силе звука), частоты которых в 2, 3, 4 и т. д. раз больше основной частоты звука. Эти дополнительные тона называются гармониками или обертона-

ми. Их относительной силой обусловливается тембр звука. Тональное восприятие звука, т. е. его высоту, обусловливает самая низкая частота, входящая в такое сложное колебание.

При звуковоспроизведении чистого (синусоидального) тона почти всегда возникают паразитные высшие гармоники, которых нет в первичном источнике звука. В передаваемой программе обычно имеются сложные созвучия, состоящие из большего числа тонов, поэтому при звуковоспроизведении, кроме гармоник всех этих тонов, возможно возникновение и так называемых комбинационных частот, которые представляют собой суммарные и разностные частоты всех тонов и их гармоник. Кроме того, при широкой полосе воспроизводимых частот наблюдаются интермодуляционные (или взаимомодуляционные) искажения, возникающие в результате модуляции верхних частот нижними. Чем шире рабочая полоса и больше амплитуда нижних частот, тем заметнее интермодуляционные искажения. Все эти искажения возникают из-за нелинейности амплитудной характеристики звуковоспроизводящей системы, а особенно ее акустической части. Искажения более заметны при больших уровнях громкости и воспринимаются как хрипение, дребезжание и т. п.

Степень нелинейных искажений характеризуется коэффициентом нелинейных искажений, показывающим отношение (в процентах) среднеквадратичной суммы амплитуд гармоник к амплитуде основной частоты. Этот коэффициент определяется при подаче синусоидального напряжения и поэтому не позволяет судить о характере и величине нелинейных искажений при одновременном воспроизведении нескольких частот, однако он дает возможность оценивать качество аппаратуры. Допустимая величина коэффициента нелинейных искажений на нижних частотах может быть значительно большей, чем на верхних.

Таким образом, основными параметрами, характеризующими электроакустическую аппаратуру, являются диапазон частот, динамический диапазон и величина нелинейных искажений. Характеристика направленности, которая определяет зависимость качества звуковоспроизведения от положения слушателя перед установкой, также имеет существенное значение. При конструирова-

нии аппаратуры, в особенности предназначенной для озвучивания больших помещений и открытых площадей, принимают меры для получения широкой характеристики направленности во всем диапазоне частот.

Исследования физических особенностей речи и музыки показали, что они представляют собой непрерывный ряд следующих друг за другом звуковых импульсов различной продолжительности, интенсивности и частоты. Для обеспечения сохранения формы и продолжительности электрического импульса при его преобразовании в звуковой громкоговоритель должен иметь не только хорошие частотные и нелинейные характеристики, но и хорошо демпфированную подвижную систему. Степень демпфирования определяет так называемые переходные характеристики громкоговорителя, по которым оценивают его способность точно воспроизводить электрический импульс.

Переходные характеристики дают возможность судить о поведении громкоговорителя в переходный момент от состояния покоя к воспроизведению сигнала или наоборот и его способности воспроизводить те или иные быстро изменяющиеся во времени звуковые процессы.

О степени демпфирования подвижной системы громкоговорителя можно судить по его частотной характеристике. Наличие больших максимумов (пиков) свидетельствует о том, что система имеет одну или больше резонансных частот. Высота пика указывает на степень демпфирования или затухания системы. Чем больше максимум, тем меньше затухание в колебательной системе. Плохие переходные характеристики недостаточно демпфированного громкоговорителя объясняются тем, что его подвижная система не только смещается электрическим импульсом из положения покоя, но и приводится в колебание на собственных (резонансных) частотах системы. Эти собственные колебания подвижной системы проявляются как в начале, так и в конце электрического импульса, причем они могут продолжаться и после прекращения импульса.

При малом демпфировании затухание собственных колебаний подвижной системы громкоговорителя продолжается достаточно долго (0,1—0,15 *сек*); вследствие этого они могут наложиться на следующий звуковой импульс и значительно исказить сигнал.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

В зависимости от способа преобразования энергии токов звуковой частоты в энергию звукового излучения громкоговорители разделяются на электромагнитные, электродинамические, электростатические и пьезоэлектрические, а в зависимости от способа излучения звуковых колебаний — на громкоговорители прямого излучения и рупорные. Громкоговорители прямого излучения имеют диафрагмы (диффузоры), излучающие звук непосредственно в окружающую воздушную среду; диафрагмы рупорных громкоговорителей излучают звук через рупоры различных форм. Электродинамические громкоговорители, кроме того, разделяются на громкоговорители с постоянными магнитами и громкоговорители с электрическим возбуждением (с подмагничиванием).

Отсутствие обмотки возбуждения экономит электроэнергию, обеспечивает большую надежность громкоговорителя в эксплуатации, а также более легкий тепловой режим при стабильной магнитной индукции в зазоре. Поэтому в настоящее время громкоговорители на разные мощности (от десятых долей до нескольких десятков вольт-ампер) выпускаются только с постоянными магнитами.

Громкоговорители всех видов характеризуются показателями, основными из которых являются номинальная мощность, отдача или чувствительность, ширина и неравномерность частотной характеристики, допустимые нелинейные искажения, направленность излучения и выходное сопротивление.

Номинальная мощность. Максимальная величина электрической мощности синусоидального тока звуковой частоты, подводимой к громкоговорителю, при которой на пиках передачи не нарушается его механическая и тепловая эксплуатационная прочность, а нелинейные искажения не превышают допустимой для него величины, предусматриваемой ГОСТ или техническими условиями, называется номинальной мощностью громкоговорителя и выражается в вольт-амперах (*ва*). В реальных условиях подводимый к громкоговорителю переменный ток имеет очень сложную форму. Он содержит кратковременные пики, при которых к громкоговорителю подводится пиковая мощность, значительно превышающая

номинальную. При этом должна сохраняться работоспособность громкоговорителя.

Отдача и чувствительность. Отношение излучаемой акустической мощности P_a к подводимой электрической мощности P определяет отдачу или к. п. д. громкоговорителя. Это отношение характеризует эффективность преобразования электрических колебаний в звуковые.

Чтобы точно определить отдачу, нужны специальная обстановка и сложная аппаратура. Поэтому эффективность громкоговорителя чаще оценивают не по отдаче, а по так называемой относительной чувствительности E, которая легче поддается измерению. Она определяется как отношение звукового давления p (в динах на квадратный сантиметр) в некоторой точке неограниченного звукового поля, расположенной на рабочей оси[1] громкоговорителя, к напряжению U (в вольтах) на зажимах громкоговорителя для данной частоты:

$$E = \frac{p}{U}.$$

Величина относительной чувствительности не определяет эффективности работы громкоговорителей, имеющих различные входные сопротивления. Как известно, между мощностью P, напряжением U и полным сопротивлением Z существует следующая зависимость:

$$P = \frac{U^2}{Z}.$$

Вследствие этого два громкоговорителя, обладающие одинаковой относительной чувствительностью, но различными сопротивлениями, хотя и создают одинаковое давление в точке измерения, потребляют разную мощность и их нельзя сравнивать по чувствительности. Эффективнее работает громкоговоритель с большим сопротивлением и, следовательно, потребляющий меньшую мощность. Поэтому более полная оценка различных громкоговорителей возможна тогда, когда берется отношение звукового давления p к квадратному корню из подводимой электрической мощности P, так как звуко-

[1] Рабочей осью громкоговорителя называется направление его преимущественного использования в нормальных условиях эксплуатации. Часто рабочая ось является осью симметрии.

вая мощность пропорциональна квадрату звукового давления:

$$E_{\text{абс}} = \frac{p}{\sqrt{P}}.$$

Получаемая по этой формуле величина гораздо полнее характеризует эффективность громкоговорителя и дает возможность сравнивать различные громкоговорители независимо от их электрического сопротивления. Величина $E_{\text{абс}}$ называется абсолютной чувствительностью и измеряется в *дин/см²/√вт*. С относительной чувствительностью E она связана соотношением

$$E_{\text{абс}} = \frac{p}{U}\sqrt{Z} = E\sqrt{Z}.$$

Абсолютная чувствительность, определяемая для стандартных условий измерений обычно на рабочей оси громкоговорителя на расстоянии 1 *м* от центра внешней плоскости диффузора или устья рупора, называется стандартной осевой абсолютной чувствительностью.

Для единства измерений и удобства сравнения различных громкоговорителей определяется так называемое стандартное звуковое давление, которое измеряется на рабочей оси громкоговорителя, расположенного в помещении, при подведении к нему напряжения, соответствующего 0,1 его номинальной мощности при частоте 1 000 *гц*, а при испытаниях на открытом воздухе — номинальной мощности (но не более 5 *ва*). Измерения производятся для громкоговорителей с наибольшими размерами излучающей поверхности до 400 *мм²* на расстоянии 1 *м*, при размерах до 1 000 *мм²* — на расстоянии 2,5 *м* и при размерах более 1 000 *мм²* — на расстоянии 5 *м*. Результаты измерения во всех случаях приводятся к расстоянию в 1 *м*, если эти расстояния специально не оговариваются.

Среднее стандартное звуковое давление громкоговорителя определяется как среднеарифметическое из значений стандартного звукового давления, измеренного для ряда частот[1], расположенных внутри номинального частотного диапазона, установленного техническими условиями на испытываемый тип громкоговорителя.

---

[1] Согласно ГОСТ 7323-55 такими частотами являются 100, 200, 400, 600 и 800 *гц*; 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5: 3; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5; 8; 10; 12 и 15 *кгц*.

Частотная характеристика. Зависимость чувствительности или стандартного звукового давления от частоты выражается частотной характеристикой громкоговорителя. Чем более широкий частотный диапазон охватывается частотной характеристикой и чем она ровнее, тем лучше громкоговоритель.

Неравномерность частотной характеристики определяется разностью уровней наибольшего и наименьшего значений величин чувствительности или стандартного звукового давления и выражается в децибелах. В некоторых случаях полученное число делят на 2 или определяют разность наибольшего и среднего, а также среднего и наименьшего уровней. При этом значение неравномерности будет со знаком ± (плюс, минус).

Нелинейные искажения. Амплитудная характеристика, выражающая зависимость отдачи громкоговорителя от величины воздействующей на него электрической мощности, определяет вносимые громкоговорителем нелинейные искажения. Если эта характеристика линейна на всех частотах в пределах передаваемого динамического диапазона, то форма звуковых колебаний будет соответствовать форме электрических колебаний, подводимых к громкоговорителю. В противном случае форма звуковых колебаний искажается (возникают нелинейные искажения), причем на нижних частотах коэффициент гармоник обычно во много раз больше, чем на средних и верхних.

Изложенное не относится к сигналам, имеющим явно выраженную импульсную форму. Качество звуковоспроизведения таких сигналов зависит от переходных характеристик громкоговорителя.

При воспроизведении речи и музыки подводимая мощность распределяется так, что на область самых нижних и самых верхних частот приходится лишь небольшая часть общей пиковой мощности (пиковые мощности для симфонической музыки приходятся на частоты 250—500 *гц*, а для речи — 500—1 000 *гц*), поэтому повышенный коэффициент нелинейных искажений в области нижних частот мало заметен и на частотах 50—100 *гц* (при номинальной мощности) допустим коэффициент нелинейных искажений порядка 10—20%. Если же громкоговоритель имеет частотную характеристику, суженную со стороны верхних частот до 4 000—5 000 *гц*,

то указанное допустимое значение коэффициента нелинейных искажений может быть в 1,5—2 раза бо́льшим.

Дополнительные комбинационные тона и интермодуляционные искажения в большей степени ухудшают качество звучания, чем гармоники. Однако из-за отсутствия надежной и простой методики измерений нормируется только коэффициент нелинейных искажений. Степень всех остальных искажений, вносимых громкоговорителем, принято оценивать при его прослушивании в режиме номинальной мощности и сравнении со звучанием контрольного громкоговорителя.

В громкоговорителях прямого излучения (диффузорных) наблюдаются искажения, обусловленные частотной модуляцией. Эти искажения, не связанные с нелинейностью, возникают при одновременном воспроизведении колебаний двух частот, из которых одна значительно выше другой. При этом высокочастотные составляющие искажаются вследствие больших колебательных скоростей диффузора на нижних частотах (своеобразный эффект Допплера).

Направленность излучения. Зависимость развиваемого громкоговорителем на данной частоте звукового давления, измеренного на определенном расстоянии, но под разными углами к рабочей оси (обычно в пределах 180°), выраженная графически, называется характеристикой направленности громкоговорителя.

Эту характеристику необходимо знать для обеспечения равномерного распределения звуковой энергии в озвучиваемом пространстве (особенно при больших аудиториях), что достигается надлежащим размещением громкоговорителей.

Входное сопротивление. Для согласования выходного каскада усилителя с громкоговорителем, являющимся для него нагрузкой, необходимо знать величину полного электрического сопротивления громкоговорителя и его зависимость от частоты[1]. По такой характеристике

---

[1] Более точно полное входное сопротивление громкоговорителя выражается сложной зависимостью от ряда величин, определяемых его электрическими, механическими и акустическими параметрами. Для упрощения учитывают только зависимость входного сопротивления от электрических параметров громкоговорителя.

можно косвенно судить о свойствах громкоговорителя, так как она позволяет определить частоту резонанса подвижной системы, а также качество ее подвеса. На рис. 2 приведены частотные характеристики полного сопротивления двух диффузорных громкоговорителей, имеющих хороший (кривая *1*) и плохой (кривая *2*) подвесы.

Входным или полным электрическим сопротивлением громкоговорителя называют сопротивление синусоидальному переменному току, измеренное на зажимах громкоговорителя или на входных зажимах дополни-

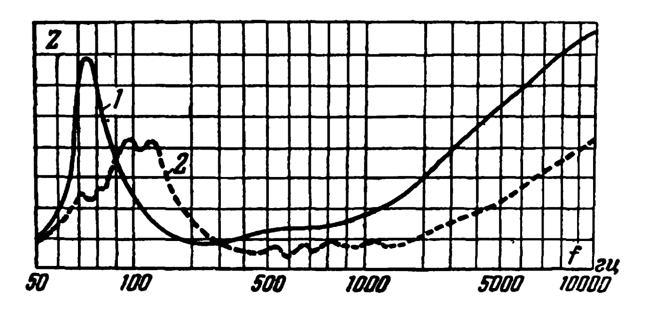


Рис. 2. Частотные характеристики входного сопротивления электродинамических громкоговорителей прямого излучения (диффузорных).

1—с гибким подвесом; *2*—с подвесом малой гибкости.

тельных устройств (согласующий трансформатор, разделительные фильтры и т. п.), если они являются неотъемлемой частью конструкции громкоговорителя или агрегата. В последнем случае говорят о входном сопротивлении агрегата.

Входное электрическое сопротивление громкоговорителя является комплексным и содержит активную и реактивную составляющие. Последняя в зависимости от типа громкоговорителя может быть индуктивной (электродинамические и электромагнитные громкоговорители) или емкостной (электростатические и пьезоэлектрические громкоговорители). Соотношение этих составляющих определяет зависимость изменения входного электрического сопротивления от частоты переменного тока, подаваемого на зажимы громкоговорителя.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Электродинамические громкоговорители прямого излучения являются в настоящее время самыми лучшими в отношении качества воспроизведения, а поэтому и самыми распространенными.

Однако и эти громкоговорители имеют ряд существенных недостатков: они обладают малым к. п. д., вносят существенные частотные искажения, а их характеристики направленности зависят от частоты.

Электродинамический громкоговоритель (рис. 3) работает следующим образом. Переменный ток, протекая через звуковую катушку, образует переменное магнитное поле, которое, взаимодействуя с постоянным полем магнита, заставляет колебаться звуковую катушку и связанный с ней диффузор. При этом в окружающем

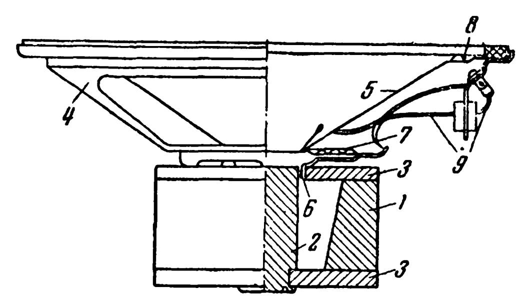


Рис. 3. Устройство электродинамического громкоговорителя прямого излучения (диффузорного).

1 — кольцевой магнит; 2 — керн; 3 — фланцы; 4 — диффузородержатель; 5 — диффузор; 6 — звуковая катушка; 7 — центрирующая шайба; 8 — воротник диффузора (гофр); 9 — выводы звуковой катушки.

пространстве возникают звуковые волны. Амплитуда колебаний тем больше, чем сильнее постоянное и переменное магнитные поля.

Электродинамические громкоговорители подразделяются на маломощные с номинальной мощностью до нескольких вольт-ампер и мощные — до 10—15 *ва*.

Основными узлами электродинамического громкоговорителя прямого излучения являются звуковая катушка, диффузор и магнитная система.

Звуковая катушка. Коэффициент полезного действия электродинамического громкоговорителя тем больше, чем больше провода помещено в рабочем зазоре магнитной цепи. Поэтому звуковую катушку обычно наматывают виток к витку в два слоя проводом ПЭЛ 0,1 — 0,12 для громкоговорителей мощностью 0,25—1 *ва* и ПЭЛ 0,15—0,2 для громкоговорителей бóльших мощностей (до 5—10 *ва*). Первый слой имеет на один-два витка больше, чем второй; этим предотвращается сползание верхних крайних витков. Более тонкие провода (диаметром 0,05—0,06 *мм*) применяются редко, так как при этом нерационально используется объем зазора (при большом числе витков изоляция провода занимает относительно много места). Кроме того, увеличение электрического сопротивления обмотки заставляет подводить к звуковой катушке большее напряжение, что повышает требования к изоляции проводов. Наконец, катушку из более толстого провода, имеющую мало витков, легче изготовить; при этом и выходной трансформатор получается более простым в изготовлении.

Наиболее распространены звуковые катушки с активными сопротивлениями 2—12 *ом*. Они содержат обязательно четное число слоев, так как при этом оба вывода катушки оказываются со стороны диффузора. В процессе намотки катушка пропитывается нитролаком, обеспечивающим жесткую связь всех витков обмотки между собой и с каркасом. Выводы катушки должны быть достаточно эластичными и прочными. Обычно они выполняются из мягких многожильных проводов, которые крепятся лаком и нитками к диффузору.

Применение современных полупроводниковых триодов и ламп с малым внутренним сопротивлением при высокой крутизне характеристики (6П18П и т. п.) позволяет выполнять выходные каскады УНЧ без выходных трансформаторов. В этих случаях требуются громкоговорители с относительно более высокоомными звуковыми катушками. Так, для схем с полупроводниковыми триодами необходимо иметь сопротивление нагрузки порядка 30—60 *ом* при малых размерах громкоговорителя; для этого звуковая катушка должна выполняться из провода ПЭЛ 0,09—0,07 и иметь 150—200 витков, укладываемых в четыре слоя. Ламповые бестрансформаторные схемы рассчитываются на нагрузку

800—1 000 *ом*, но при этом используется возможность последовательного включения двух и больше громкоговорителей. Промышленностью разработаны варианты типовых громкоговорителей разной мощности с высокоомными звуковыми катушками, намотанными проводом ПЭЛ 0,05 в шесть слоев. Применение еще более тонкого провода нецелесообразно по технологическим и эксплуатационным соображениям.

Согласно ГОСТ 9010-59 устанавливаются следующие номинальные значения полных электрических сопротивлений громкоговорителей: 2; 4; 5; 6,5; 10; 50; 100; 400 и 800 *ом* с допуском ±15% (обычно они измеряются при 1 000 *гц*).

Звуковая катушка должна находиться точно в середине магнитного зазора. Такое ее положение обеспечивается при помощи центрирующей шайбы. В громкоговорителях старых типов шайбы изготовлялись из гибкого материала (текстолита, картона и т. п.) в виде трех-четырехлепестковой крестовины; для увеличения гибкости в ней делали специальные вырезы. Центрирующие шайбы современных громкоговорителей изготовляются из ткани (миткаля, шифона и т. п.), пропитанной бакелитовым лаком, или отливаются из бумажной массы в виде гофрированного диска. Такая центрирующая шайба имеет внутренний диаметр, равный диаметру звуковой катушки, и приклеивается в том же месте, где и диффузор. По периферии шайба закрепляется внутри диффузородержателя. Этот способ крепления обеспечивает достаточную радиальную жесткость при большой свободе перемещения катушки и диффузора в осевом направлении.

Диффузор. Для хорошего воспроизведения верхних звуковых частот подвижная система громкоговорителя должна иметь малую массу. С другой стороны, для лучшего воспроизведения нижних частот диффузор должен иметь достаточную поверхность и жесткость, чтобы действовать как поршень и не деформироваться при больших амплитудах сигнала. Это противоречие особенно резко проявляется при конструировании громкоговорителей мощностью 5 *ва* и выше.

В большинстве современных электродинамических громкоговорителей применяются литые бесшовные диффузоры из бумажной массы (часто с примесью шерсти),

которая в жидком виде осаждается на специальные формы и просушивается. При кустарном изготовлении диффузоров применяют не слишком жесткую, но плотную бумагу (полуватман).

Чтобы диффузор обладал достаточной жесткостью, ему обычно придается коническая форма с углом раскрытия от 100 до 120—130°. При бóльших углах диффузор оказывается недостаточно жестким, а при меньших — слишком тяжелым. В громкоговорителях мощностью 5 *ва* и выше применяют диффузоры с кольцевой гофрировкой (рис. 4,*а*) или криволинейной образующей

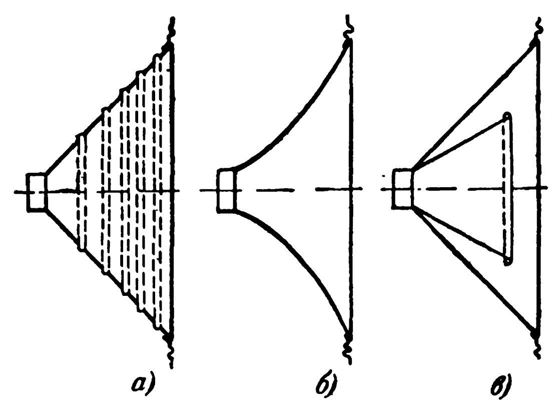


Рис. 4. Диффузоры громкоговорителей.
а — с прямолинейной образующей (гофрированный); *б* — с криволинейной образующей; *в* — с дополнительным конусом.

(рис. 4,*б*). Часто конус диффузора на одну треть (вершину) пропитывают цапон-лаком. Этим достигается большая жесткость пропитанной части диффузора, что улучшает воспроизведение верхних частот. Для этой же цели иногда применяется дополнительный небольшой диффузор (конусок), пропитанный цапон-лаком и жестко прикрепленный вершиной к основному диффузору (рис. 4,*в*). На верхних частотах основной, менее жесткий диффузор как бы отключается и излучает только конусок.

Следует указать, что применение радиолюбителями этих мер к имеющимся у них громкоговорителям с целью улучшения воспроизведения верхних частот обычно не дает желаемого эффекта, так как при этом

увеличивается масса подвижной системы и нарушаются расчетные соотношения масс диффузора и звуковой катушки.

Наряду с диффузорами, имеющими вид конуса с круглым основанием, широкое распространение получили диффузоры с основанием в виде эллипса. Такие диффузоры имеют громкоговорители разных типов и мощностей (0,5—10 *ва*). Они особенно удобны для размещения в конструкциях (особенно в телевизорах). Как и круглые громкоговорители новых типов, они обладают широким диапазоном воспроизведения в области верхних частот, однако это не зависит от формы диффузора. Решающую роль при этом играют применение более качественных материалов (особенно для магнитной системы), правильный расчет и соответствующая технология, а также более тщательное изготовление.

Магнитная система. Коэффициент полезного действия громкоговорителя в большой степени зависит от величины магнитной индукции в рабочем зазоре магнитной цепи, состоящей из постоянного магнита и магнитопровода. В свою очередь величина магнитной индукции зависит от конструкции деталей магнитной цепи и качества магнитных материалов. Специальные магнитные сплавы, из которых отливаются постоянные магниты, содержат алюминий, железо и никель (сплавы АЛНИ, АНМ и т. п.) или те же металлы с некоторой добавкой кобальта (сплав АНКО-4). Эти сплавы, особенно АНКО-4, обладают высокими магнитными свойствами (большой величиной магнитной энергии, значительной коэрцитивной силой и др.).

Постоянные магниты из сплава АЛНИ изготовляются в виде цилиндрических колец или четырехгранных рамок. К их торцам крепятся два фланца, которые вместе с керном образуют магнитопровод. В некоторых конструкциях громкоговорителей массовых типов для крепления фланцев применяют специальные клеи (БФ-2 и др.). Одним концом керн впрессовывается в нижний фланец, а другим входит в несколько большее по диаметру отверстие в верхнем фланце. Образующийся при этом зазор и является рабочим зазором магнитной цепи. Фланцы и керн изготовляются из мягкой стали. Чем меньше ширина и высота рабочего зазора, тем больше магнитная индукция. Однако по конструктивным и элек-

трическим соображениям рабочие зазоры делаются шириной не менее 0,8—1,2 *мм* при высоте 5—10 *мм*. Номинальные диаметры кернов должны быть следующими: 10, 12, 15, 17, 20, 25, 30 и 40 *мм* с допуском минус 0,05 *мм* (ГОСТ 9010-59).

В некоторых типах громкоговорителей магнитом является керн, изготовленный, как правило, из сплава АНКО-4. В этом случае магнитопровод состоит из скобы, платы, кернового магнита и круглого полюсного наконечника. Рабочий зазор образуется между полюсным наконечником и платой (а иногда скобой). Все детали магнитной цепи склеиваются клеем БФ-2. Такая магнитная система по сравнению с кольцевыми или рамочными имеет существенно меньший вес и меньшее поле рассеяния, к тому же экранируемое скобой.

Диффузородержатель соединяет подвижную и магнитную системы в одно целое. Он обычно крепится к верхнему фланцу магнитной системы и имеет вид конической чашки, выштампованной из листовой стали толщиной до 2 *мм*. В более мощных громкоговорителях применяются сварные диффузородержатели, а также литые из сплава «силумин».

Заменитель магнитных сплавов — ферроксдур. Магнитная система, выполненная из дорогостоящих и остродефицитных материалов (кобальта, никеля, меди и др.), значительно повышает стоимость громкоговорителя. Снижение стоимости может быть достигнуто как упрощением конструкции и автоматизацией производства, так и заменой дорогостоящих и дефицитных материалов более дешевыми. Одним из таких материалов является ферроксдур, относящийся к типу магнитокерамик (ферритов).

Новый магнитный материал изготовляется из окислов железа и бария (весовое отношение окиси железа и азотно-кислого бария 4 : 1). Его химический состав выражается формулой $BaFe_{12}O_{19}$.

После первичного прессования (брикетирования) и последующего спекания и размола смесь исходных материалов в виде мельчайшего порошка (размеры крупинок 1—2 *мк*) подвергается намагничиванию, осуществляемому, так же как и вторичное прессование деталей, в сильном магнитном поле (H=10 000—12 000 *э*),

благодаря чему достигается анизотропия[1] магнитных свойств. Весь технологический процесс заканчивается спеканием отпрессованных деталей, продолжающимся 3 *ч* при температуре 1 200—1 320° С. Керамическим магнитам, изготовленным описанным выше способом, присвоено название «магниты бариевые анизотропные» (сокращенно — МБА).

Чтобы оценить преимущества нового магнитного материала, рассмотрим его магнитные характеристики и сравним их с характеристиками широко распространенных металлических сплавов АЛНИ и АНКО-4.

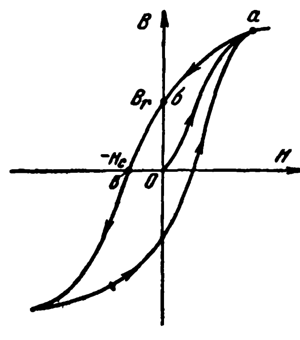


Рис. 5. Петля гистерезиса магнитного материала (ферромагнетика).

Для определения качества любого магнитного материала необходимо знать зависимость изменения магнитной индукции *B* (намагниченности) от напряженности магнитного поля *H*. Зависимость *B* от *H* показана на рис. 5. Из кривой намагниченности следует, что при начальном намагничивании (участок *оа*) индукция *B* растет непропорционально увеличению магнитного поля *H* и достигает режима насыщения (за точкой *а*). Если после этого уменьшить напряженность поля, то кривая размагничивания (участок *абв*) не совпадет с начальной кривой, а проходит выше ее. Это «отставание» индукции от напряженности поля называется магнитным гистерезисом, а графическое изображение полного цикла намагничивания и размагничивания—петлей гистерезиса.

Петля гистерезиса является главной рабочей характеристикой, служащей критерием качества магнитного материала, применяемого для постоянных магнитов. Свойство магнитного материала определяется в основном двумя параметрами: коэрцитивной (задерживающей) силой H_c, показывающей способность материала сохранить остаточ-

[1] Анизотропией называются неоднородность строения тела и зависимость физических свойств от направления. Магнитная анизотропия проявляется в том, что магнитные свойства явно заметны только в одном направлении, например по длине магнита.

ную намагниченность, и остаточной индукцией B_r, остающейся в материале при отсутствии внешнего (намагничивающего) поля ($H=0$). Эти параметры определяются по кривой размагничивания (участок *абв* петли гистерезиса на рис. 5, на которой точка *б* дает значение остаточной индукции B_r, а точка *в* — коэрцитивной силы H_c. Чем выше значения этих величин и больше выпуклость кривой размагничивания между точками *б* и *в*, тем магнит качест-

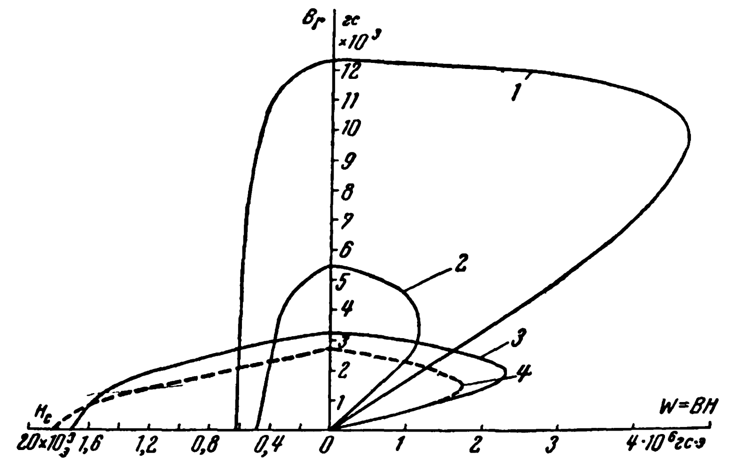


Рис. 6. Кривые размагничивания (слева) и магнитной энергии (справа) разных магнитных материалов.

1 — АНКО-4; *2* — АЛНИ; *3* и *4* — МБА разных сортов.

веннее и тем больше индукция, создаваемая им в рабочем зазоре прибора, и, следовательно, тем меньшее количество материала требуется для изготовления магнита определенного назначения. Величина магнитной энергии W определяется произведением BH и учитывается при расчете различных магнитных систем.

Для удобства сравнения нового магнитокерамического материала МБА с наиболее распространенными магнитными сплавами АЛНИ и АНКО-4, применяемыми в магнитах для громкоговорителей, в табл. 1 и на рис. 6 приведены основные параметры магнитов МБА, АЛНИ и АНКО-4. По кривым размагничивания (левая часть графика на рис. 6) и магнитной энергии (правая часть) видно, что новый материал (МБА) обладает значительно большей

коэрцитивной силой $H_с$, чем оба металлических сплава, но меньшей остаточной индукцией B_r, при промежуточном значении максимальной магнитной энергии $W_{макс}$. Однако если учесть, что удельный вес МБА равен 4,8 *г/см*³, т. е. значительно меньше удельного веса сплавов АЛНИ и АНКО-4 (7,3 и 7,8 *г/см*³), то относительная магнитная энергия на единицу веса оказывается у МБА значительно большей, чем у магнитов из АЛНИ, и почти одинаковый с магнитами из АНКО-4.

Особенностью магнитов из нового материала является увеличение коэрцитивной силы с повышением температуры, поэтому их можно нагревать почти до 400° С, не боясь размагничивания. Они обладают высокой магнитной стабильностью, их можно намагничивать вне магнитной системы, а затем помещать в рабочее пространство без потери магнитного потока. Всеми этими свойствами не обладают магниты из сплавов АЛНИ и АНКО-4.

К недостаткам нового материала следует отнести пониженную остаточную индукцию B_r и близкое к 1 значение магнитной проницаемости μ*, такой же, как у воздуха и других немагнитных материалов. Эти недостатки налагают особые условия на конструкцию магнитов для магнитных систем громкоговорителей. Наилучшее использование магнитной энергии достигается при минимальном отношении длины магнита к его сечению, что приводит к необходимости выполнять его в виде сравнительно тонкой и широкой шайбы; при этом магнитная система получается плоской.

Ферроксдур (МБА) хрупок и тверд. Он поддается обработке только абразивами.

Разработана серия электродинамических громкоговорителей мощностью 0,5—4 *ва* с круглыми и овальными диффузорами и очень плоскими магнитами, выполненными из ферроксдура. Магнитные свойства новой системы, т. е. индукция в рабочем зазоре, в основном сохранились такими же, как и в аналогичных системах с магнитами из металлических сплавов, а другие узлы (дифффузор, звуковая катушка, центрирующая шайба

---

* Магнитная проницаемость выражается отношением магнитной индукции к напряженности поля ($\mu = B/H$).

Таблица 1

Состав и магнитные свойства материалов, применяемых для изготовления магнитов для громкоговорителей

Материал	Номинальный состав, %					Параметры				
	Кобальт	Никель	Алюминий	Медь	Железо	Остаточная индукция, *в*	Коэрцитивная сила, *гс*	Максимальная магнитная энергия, *гс·в*	Удельный вес, *г/см*³	Удельное сопротивление, *ом·м*
АЛНИ	—	23,5	15,5	4	57	$(5,4 \div 5,6) \cdot 10^3$	480—520	$(0,95 \div 1,2) \cdot 10^6$	7,3	10^{-4}
АНКО-4	24	13,5	9	3	50,5	$(10 \div 13,5) \cdot 10^3$	500—800	До $(4,5 \div 4,8) \cdot 10^6$	7,8	10^{-4}
Ферроксдур МБА	Ферритная окись железа 80—86% Азотнокислый барий 20—14%					$(2 \div 3,5) \cdot 10^3$	Свыше 1 600	$(2 \div 2,5) \cdot 10^6$	4,8	10^8

Примечание. Сплав АЛНИ этого состава применяется для кольцевых и рамочных магнитов весом 0,3—3 *кг*, а сплав АНКО-4—для керновых магнитов весом до 100—150 *г*. Разброс параметров у всех магнитных материалов определяется тщательностью выполнения технологического режима, а также химической чистотой исходных материалов. Ничтожное процентное изменение примесей в этих материалах вызывает заметный разброс. Вес магнитов из ферроксдура (МБА) 40—200 *г* (для громкоговорителей 0,5—4 *ва*).

и т. п.) остались без изменения, поэтому типовые параметры и другие эксплуатационные данные, свойственные громкоговорителям соответствующего класса, также не изменились.

На рис. 7 показаны конструкции магнитных систем, разработанных для громкоговорителей мощностью 3—5 и 0,5—2 *ва*.

В некоторых малогабаритных конструкциях такие громкоговорители создают поля рассеяния, которые могут исказить растр на телевизионной трубке или уменьшить чувствительность магнитной (ферритовой) антенны в случае близкого расположения от них нового громкоговорителя. Для экранировки искажающих полей рассеяния магнитная система иногда помещается внутри диффузородержателя, что уменьшает поле рассеяния в 5—6 раз. Такое конструктивное решение при плоской магнитной системе приводит к очень удачному и весьма компактному оформлению громкоговорителя. Внешний вид новых громкоговорителей приведен на рис. 8.

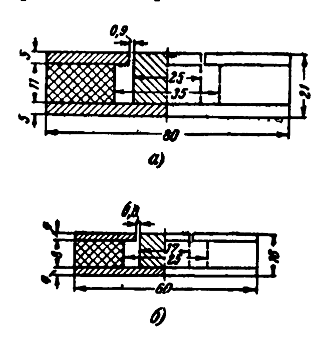


Рис. 7. Магнитные системы с МБА для диффузорных громкоговорителей.
а — мощностью 3—5 *ва*; *б* — мощностью 0,5—2 *ва*.

Применение новых материалов не исключает возможности построения магнитных систем по принципу кернового магнита. На рис. 9 показана такая конструкция магнитной системы для громкоговорителей малой мощности. Внутри (на дне) точеной или штампованной чашки *1*, служащей основой закрытой магнитной системы, помещается магнит (МБА) в виде диска *2*, к которому сверху прилегает более тонкий диск с керном *3*, последние выполнены, как и весь магнитопровод, из мягкой стали армко; вся чашка закрывается верхним фланцем *4*, имеющим три отверстия с резьбой для крепления диффузородержателя.

Особенности применения и типовые данные диффузорных громкоговорителей. Электродинамические громкоговорители прямого излучения (диффузорные) малой мощности (от 0,5 до 2—4 *ва*) широко применяются в ка-

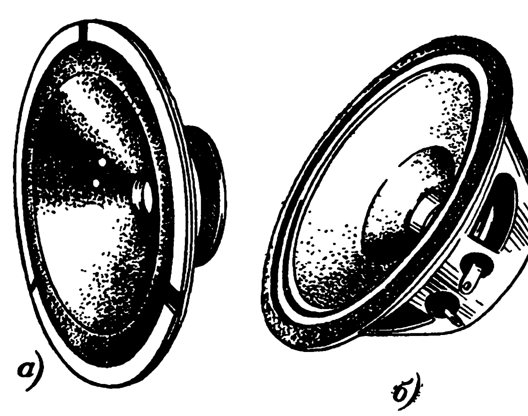


Рис. 8. Внешний вид громкоговорителей с МБА.
а — открытая магнитная система; *б* — экранированная магнитная система.

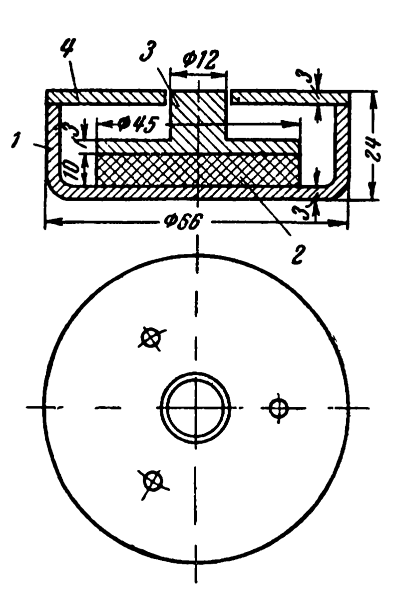


Рис. 9. Экранированная магнитная система с МБА для громкоговорителей малой мощности.

честве абонентских громкоговорителей на сетях проводного вещания.

Абонентские громкоговорители по своим электрическим и акустическим параметрам делятся на четыре класса (высший, первый, второй и третий). Их основные параметры и другие технические данные должны удовлетворять ГОСТ 5961-59 (выпущен взамен ГОСТ 5961-51).

В их комплект, помимо собственно громкоговорителя (головки), входит согласующий трансформатор, позволяющий подключать низкоомную звуковую катушку к трансляционной сети с напряжением 15 или 30 *в*, регуляторы громкости и тембра, соединительный шнур со штепсельной вилкой и ящик.

Громкоговорители всех классов должны иметь плавный или ступенчатый регулятор громкости, обеспечивающий также полное выключение передачи. Ступенчатый регулятор в громкоговорителях высшего и первого классов должен иметь градации уровня 4 ± 1 *дб*, а второго и третьего классов 6 ± 2 *дб*.

Громкоговорители высшего класса должны иметь регулятор тембра и могут иметь тон-компенсатор. Для остальных эти устройства желательны, но не обязательны. Регулятор тембра (с одной или несколькими ручками) предназначен обеспечивать спад частотной характеристики в области нижних и верхних частот не менее чем на 12 *дб* (спад на нижней и верхней граничных частотах номинального диапазона относительно уровня при 1 000 *гц*).

К тон-компенсатору предъявляются условия, по которым он должен обеспечить спад частотной характеристики в области средних и верхних частот (спад на частоте 1 000 *гц* относительно уровня на частоте 100 *гц*) 0—3 *дб* при снижении общего уровня относительно максимального на 10 *дб*; 3—6 *дб* — при снижении на 20 *дб*, 6—9 *дб*—при снижении на 30 *дб*, 9—12 *дб*—при снижении на 40 *дб* и 12—15 *дб*—при снижении на 50 *дб*.

В настоящее время разработан комплект абонентских громкоговорителей всех классов в разнообразном внешнем оформлении. Высший класс громкоговорителей выполнен в консольном и настольном оформлениях большого объема (порядка 0,15—0,2 $м^3$). Громкоговорители остальных классов оформлены только в виде на-

стольных конструкций (их можно также подвешивать на стене). Третий класс осуществляется в двух вариантах: обычном и малогабаритном.

Абонентские громкоговорители в зависимости от класса имеют следующие габариты (среднеориентировочные данные): первый класс—435×280×220 *мм*; второй класс—290×270×150 *мм*; третий класс—250×180××110 *мм*; третий класс малогабаритный — 160×110××60 *мм*. Эти размеры могут несколько изменяться,

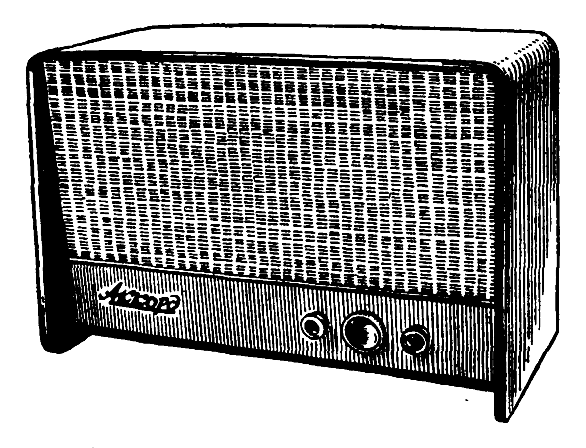


Рис. 10. Абонентский громкоговорителъ первого класса „Аккорд“.

однако таким образом, чтобы объем ящика не уменьшался. Внешний вид вновь разработанных образцов абонентских громкоговорителей первого и третьего классов показан на рис. 10 и 11.

В абонентских громкоговорителях первого и второго классов старых выпусков в качестве головки обычно применялся диффузорный громкоговоритель типа 1ГД-5 или соответствующий ему по параметрам и размерам громкоговоритель. В новейших конструкциях применяются унифицированные головки 4ГД-1 для первого класса, специально разработанные головки 3ГД-12 —для второго класса, 2ГД-9—для третьего класса и 0,5ГД-15 (элиптический) — для малогабаритного варианта. Кроме того, для всех классов разработаны варианты головок с магнитной системой из МБА. Все голов-

ки имеют запас по номинальной мощности, чем обеспечивается требуемый небольшой коэффициент нелинейных искажений.

Громкоговорители прямого излучения мощностью 1 *ва* и выше применяются в радиовещательных, автомобильных, переносных и телевизионных приемниках, а также радиолах и электрограммофонах всех классов.

Громкоговорители мощностью 10 *ва* находят применение в качестве головок в контрольных громкоговори-

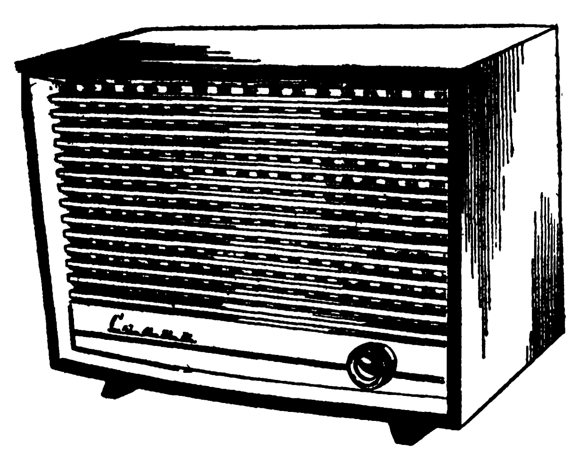


Рис. 11. Абонентский громкоговоритель третьего класса „Салют".

телях и акустических системах консольных радиол, телевизоров и высококачественных комбинированных установках. Наряду с громкоговорителями, имеющими круглую форму диффузора, широко применяются эллиптические громкоговорители с овальным диффузором. Особо широкое применение они нашли в телевизорах и приемниках с объемным звучанием (тип 1ГД-9).

Громкоговорители мощностью 0,25—0,5 *ва*, имеющие весьма малые габариты, предназначаются для переносных и малогабаритных приемников и телевизоров, в том числе и для карманных конструкций на полупроводниковых триодах (тип 0,25ГД-1).

Кроме обычных широкополосных громкоговорителей, имеются также специальные высокочастотные громкоговорители («пищалки») для воспроизведения высших ча-

стот в двухполосных системах. Они имеют легкую подвижную систему и малые размеры. Лучшими громкоговорителями такого рода следует признать типы ВГД-1 (3ГДВ-1) и ВГД-2 (3ГДВ-2). Кроме них, с несколько меньшим эффектом могут применяться громкоговорители 1ГД-9 (вариант с частотной характеристикой в пределах 200—10 000 *гц*) и новые громкоговорители типов 1ГД-12 (овальный) и 1ГД-14 (круглый).

Электродинамические громкоговорители прямого излучения необходимо помещать в ящики (акустические экраны), размер которых определяет частотную характеристику, особенно в области нижних частот. Объемы таких ящиков с открытой задней стенкой и соотношение сторон (размеры) нормируются ГОСТ 5090-59, и их данные в зависимости от номинальной полосы частот приведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость объема ящика (с открытой задней стенкой) от номинального диапазона частот громкоговорителя при неравномерности частотной характеристики не более 15 *дб*

Ящик при соотношении сторон 1 : 1,5 : 2	Громкоговорители с простыми подвижными системами	Громкоговорители со сложными подвижными системами, а также сдвоенные и строенные
Объем, $см^3$	Номинальный диапазон частот, *гц*	
5 000	250—5 000	—
15 000	120—7 000	—
50 000	100—7 000	—
85 000	80—7 000	80—10 000
120 000	70—7 000	70—12 000
500 000	50—8 000	50—15 000

Тем же ГОСТ определяются допустимые значения коэффициента нелинейных искажений при различных частотах и условиях работы. Эти данные приведены в табл. 3.

Внешний вид некоторых типовых диффузорных громкоговорителей показан на рис. 12, а их основные электроакустические и конструктивные данные приведены в приложении 1.

Звуковые колонки. Диффузорные электродинамические громкоговорители нашли применение и в мощных

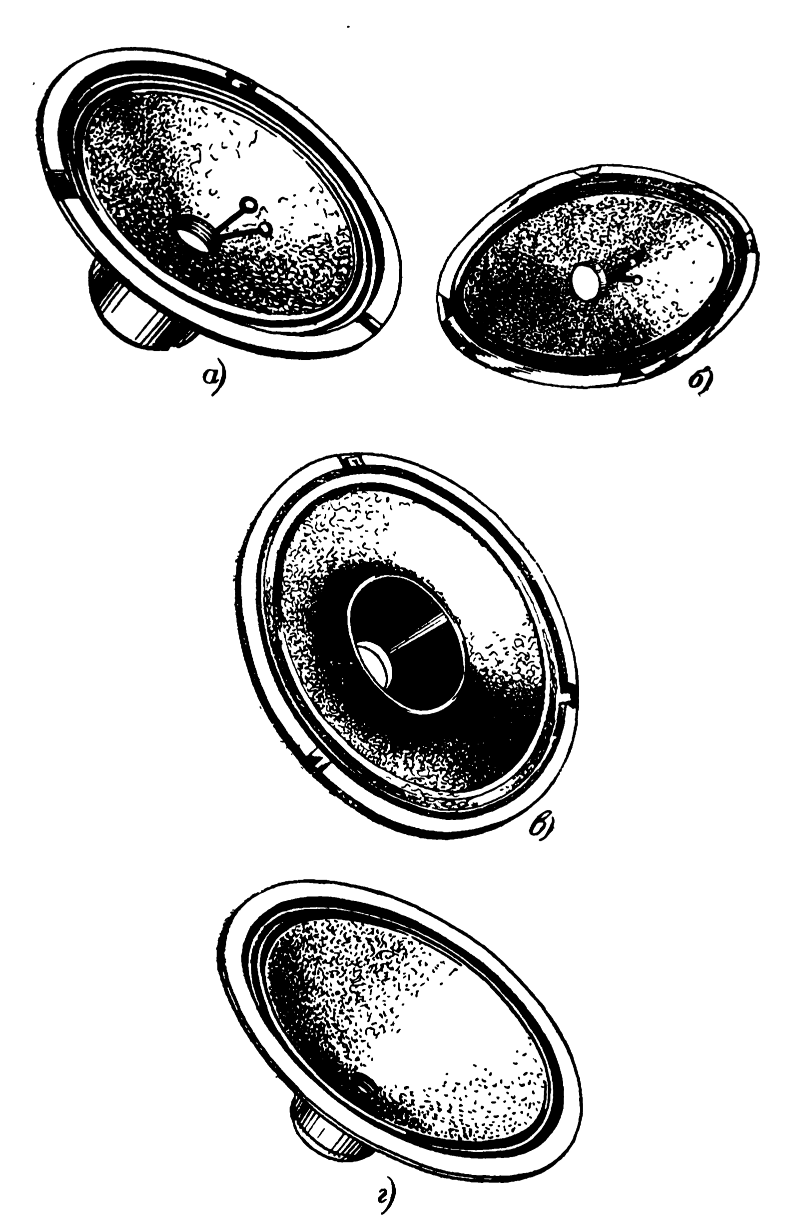


Рис. 12. Электродинамические диффузорные громкоговорители (даны не в одинаковом масштабе).

а — 0,5ГД-10; *б* — 1ГД-9; *в* — 2ГД 3; *г* — 10ГД-17.

Таблица 3

Допустимые значения коэффициента нелинейных искажений диффузорных громкоговорителей

Условия работы громкоговорителя	Частота, *гц*						
	>100	200	400	1 000	2 000	3 000	5 000
	Нелинейные искажения, %						
При номинальной мощности	10	7	7	5	5	3	3
При 0,5 номинальной мощности и объеме ящика 0,12 $м^3$ и более	7	5	3	3	3	2	2

системах, предназначенных для озвучивания больших помещений и открытых площадей.

В эксплуатации начинают внедряться групповые излучатели, состоящие из четырех — восьми и больше типовых диффузорных громкоговорителей, располагаемых вертикально в один, два или три ряда. Из-за такого расположения громкоговорителей излучатели получили название «звуковых колонок». Высокое качество современных диффузорных громкоговорителей в сочетании с надлежащим оформлением позволили создать групповой излучатель, в котором сочетаются достаточно высокие акустические качества с возможностью получения нужных характеристик направленности как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях.

В настоящее время разработано несколько типов звуковых колонок на мощности 8, 10, 25 и 50 *ва* в деревянном и металлическом оформлениях. Первые предназначаются для озвучивания закрытых помещений, а вторые — для озвучивания открытых пространств (в этом случае поверх колонки надевается брезентовый чехол).

Условное обозначение типа колонки (например, 25КЗ-2) состоит из числа, обозначающего номинальную мощность, двух начальных букв (КЗ — колонка звуковая) и цифры, указывающей вид оформления (металлическое — 1, деревянное — 2). В зависимости от мощности колонки комплектуются головками типа 2ГД-3, 4ГД-1 или 10ГД-20 и согласующим трансформатором, позволяющим осуществлять питание от трансляционных сетей с напряжением 30, 120 или 240 *в*, а кроме того, при необходимости снижать потребляемую мощность

в 2 или 4 раза. Соответствующий подбор головок по мощности обеспечивает достаточно низкий коэффициент нелинейных искажений, который для всех типов звуковых колонок при номинальной мощности не превышает 7% на частотах до 200 *гц*, 5% — на частотах 200—400 *гц* и 3% — на частотах выше 400 *гц*. Основные

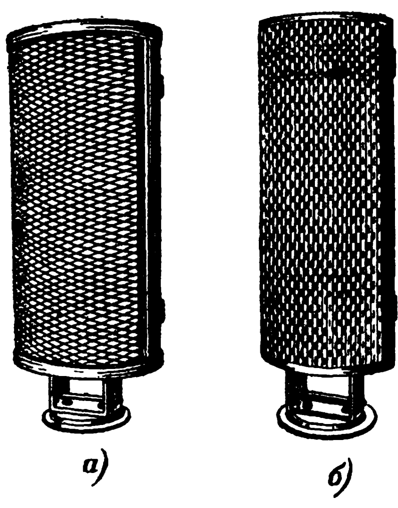


Рис. 13. Внешний вид звуковых колонок.
а — 10КЗ-1; *б* — 10КЗ-2.

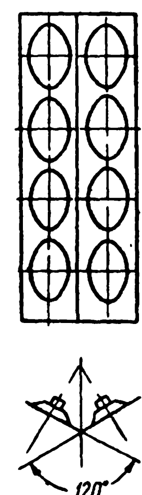


Рис. 14. Расположение головок звуковой колонки на угловом щите.

параметры звуковых колонок, их комплектация и некоторые конструктивные данные приведены в приложении 2, а внешний вид двух типов колонок показан на рис. 13.

Наиболее простые звуковые колонки 8КЗ-1 и 8КЗ-2 имеют по четыре головки типа 2ГД-3, укрепленные на обычном щите вертикально в один ряд. В звуковых колонках мощностью 10, 25 и 50 *ва* головки располагаются в два ряда на угловом щите с расхождением рабочих осей на 60° (рис. 14). Щиты с головками устанавливаются в закрытый со всех сторон ящик. Такая конструкция позволяет получить весьма эффективное воспроизведение низших частот и расширить характеристику направленности в горизонтальной плоскости, не расширяя ее в вертикальной (рис. 15). Последняя не должна быть

излишне широкой, чтобы зря не рассеивать звуковую энергию, и слишком узкой, чтобы эффективно озвучивать нужное пространство. Для удовлетворения этого условия необходимо обеспечить уменьшение чувствительности по вертикали более чем на 6 *дб* в пределах углов не менее 10 и не более 45°.

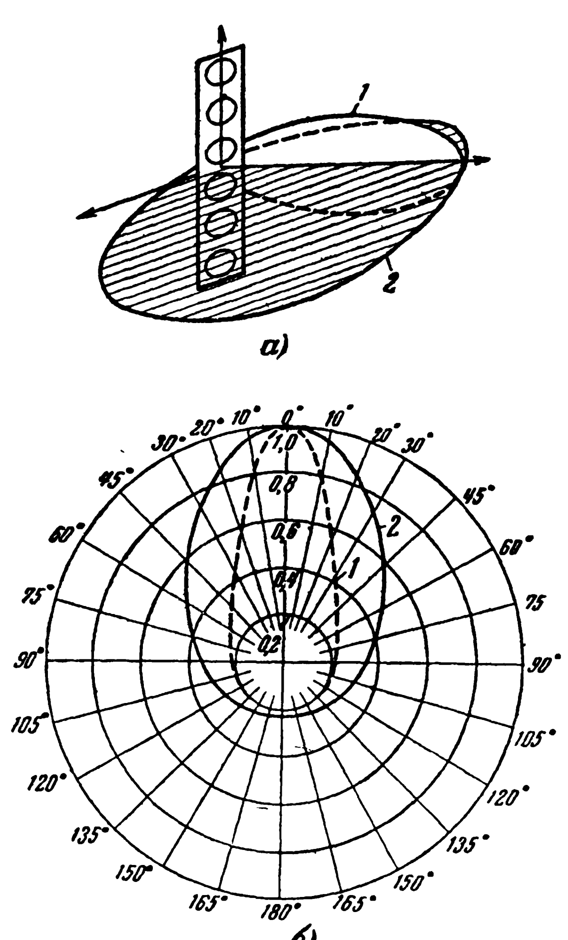


Рис. 15. Типовые характеристики направленности звуковых колонок.

а — вид в пространстве; *б* — графическое изображение (*1* — вертикальная плоскость; *2* — горизонтальная плоскость).

При озвучивании открытых пространств конструкция звуковых колонок предусматривает возможность крепить их к нижней опоре (кронштейну или мачте) с наклоном в пределах ±30°, а в закрытых помещениях имеется возможность подвешивать колонки на стене или к потолку.

Особенностью описываемых звуковых колонок является пониженное излучение с обратной стороны, что обусловливается применением закрытого ящика. Перепад уровней громкости по «фронту» и «тылу» у всех типов колонок не меньше 8—10 *дб*. Такая особенность весьма благоприятна во многих случаях звукофикации, например когда нужно озвучить арену, не озвучивая мест слушателей, и наоборот. Кроме того, описываемая система при местном звукоусилении хорошо предохраняет от акустической обратной связи, конечно в случае установки микрофонов в области тылового излучения.

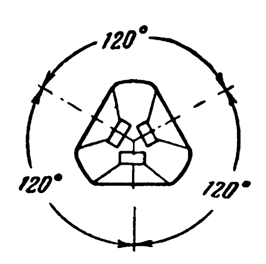


Рис. 16. Расположение головок в ненаправленных звуковых колонках (вид сверху).

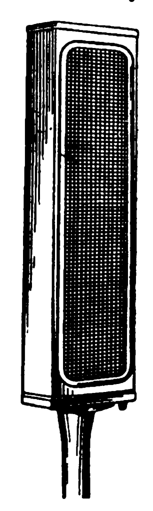
Кроме описанных звуковых колонок, обладающих направленностью излучения, разработаны ненаправленные колонки мощностью 20 и 40 *ва* (20КЗН-1 и 40КЗН-1) предназначенные в основном для озвучивания открытых пространств. Головки в этих колонках расположены внутри шестигранной призмы в три вертикальных ряда, так что угол между их осями составляет 120° (рис. 16). Звуковые колонки 20КЗН-1 имеют 12 головок типа 2ГД-3, а 40КЗН-1 — 9 головок типа 5ГД-14. Обе разновидности колонок имеют металлическое оформление и могут быть установлены на трубу-мачту высотой 1,5—1,8 *м*. Внешний вид этих колонок показан на рис. 17, а их основные параметры и конструктивные данные приведены в приложении *2*.

Другой вариант оформления ненаправленных звуковых колонок (зарубежных) представляет собой открытую с обеих сторон конструкцию, в которой помещаются шесть громкоговорителей (головок), расположенных в один ряд таким образом, что рабочая ось каждой последующей головки отклоняется от нормальной оси

колонки вправо или влево так, что угол между осями соседних головок составляет 30° (рис. 18). Подобное расположение преследует ту же цель — расширить характеристику направленности в горизонтальной плоскости. Такая звуковая колонка номинальной мощностью 25 *ва* содержит шесть громкоговорителей мощностью 4 *ва* каждый и согласующий трансформатор для подключения к сети с напряжением 100 *в* ($Z_{вх}=400$ *ом*). Ее электроакустические параметры весьма близки к параметрам колонки типа 20КЗН-1. Она также имеет металлическое оформление, но бо́льшие габариты из-за расположения головок в один ряд. Внешний вид такой звуковой колонки фирмы Телефункен показан на рис. 19.

Звуковые колонки весьма перспективны для широкого распространения. Простота конструкции и применение унифицированных типов громкоговорителей (головок) делают их доступными для самодельного изготовления

Радиальные громкоговорители. Для озвучивания открытых мест или очень больших помещений, где не требуется местного звукоусиления, а слушатели занимают широкое пространство (например, площади, стадионы) или все время передвигаются (аллеи парка, открытые выставки, ярмарки и т. п.), нужны ненаправленные громкоговорители. Наибольшее приближение к этому требованию достигается в групповых излучателях, где от-



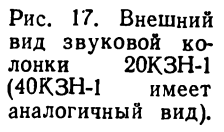


Рис. 17. Внешний вид звуковой колонки 20КЗН-1 (40КЗН-1 имеет аналогичный вид).

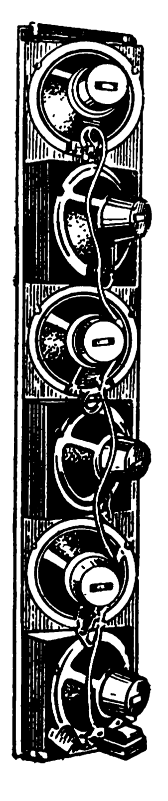


Рис. 18. Расположение головок в звуковой колонке фирмы Телефункен.

дельные головки устанавливаются по окружности, а конструкция оформления предусматривает круговое рассеяние звука. Такие излучатели получили название радиальных громкоговорителей. В них головками слу-

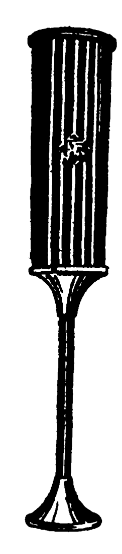


Рис. 19. Внешний вид уличной звуковой колонки мощностью 25 *ва* фирмы Телефункен.

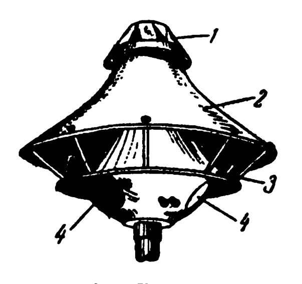


Рис. 20. Громкоговоритель ДГР-25.

1 — низкочастотный громкоговоритель; *2* — направляющий рупор; *3* — рассеиватель; *4* — высокочастотные громкоговорители.

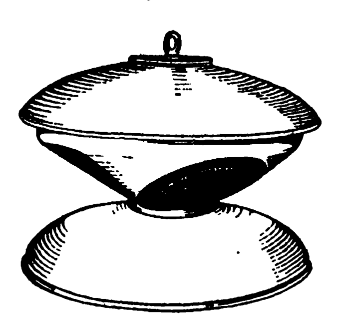


Рис. 21. Внешний вид радиального громкоговорителя 10ГДН-1 (25ГДН-1 имеет аналогичный вид).

жат обычные диффузорные громкоговорители.

Примером такой конструкции является мощный двухполосный громкоговоритель типа ДГР-25 (рис. 20), устанавливаемый высоко на мачте или кронштейне. Этот агрегат представляет собой двухполосную систему и состоит из горизонтально расположенного низкочастотного громкоговорителя *1*, снабженного направляющим рупором *2* с рассеивателем *3*, обеспечивающим нужное распределение в горизонтальной плоскости (ненаправленное излучение). Воспроизведение верхних частот осу-

ществляется тремя громкоговорителями *4*, расположенными в нижней части и под углом 120° друг к другу. Такое расположение позволяет получить равномерное распределение звука и в области верхних частот. Высокочастотные громкоговорители соединяются последовательно и подключаются к согласующему трансформатору через конденсатор. Громкоговоритель ДГР-25 рассчитан на подключение к трансляционной сети с напряжением 120 или 240 *в*.

Разработаны и серийно выпускаются более простые радиальные громкоговорители мощностью 10 *ва* (10ГДН-1) и 25 *ва* (25ГДН-1), обладающие достаточно высокими параметрами и работающие с диффузорными унифицированными головками. Конструкции обоих громкоговорителей совершенно одинаковы и различаются только размерами, весом и типами головок. Они могут быть установлены на мачте или кронштейне, а также подвешены к балке или потолку.

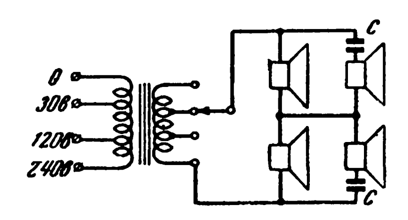


Рис. 22. Схема соединения головок в радиальных громкоговорителях 10ГДН-1 и 25ГДН-1

Громкоговоритель 10ГДН-1 (рис. 21) содержит четыре головки типа 4ГД-1 с диффузорами диаметром 200 *мм*, а 25ГДН-1 — такое же количество головок типа 10ГД-20 с диффузорами диаметром 250 *мм*. Головки установлены в общем кожухе и располагаются симметрично по окружности под углом 35° к вертикали. Для достижения наиболее равномерного распределения звуковой энергии по озвучиваемой площади под кожухом имеется специальный рассеиватель. С этой же целью две диаметрально противоположные по расположению головки подключаются к двум другим головкам через конденсаторы *С* (рис. 22). Благодаря этим мерам в плоскости, перпендикулярной оси громкоговорителя, в угле до 70° от нее относительное изменение звукового давления не превышает 7 *дб*.

Как и звуковые колонки, радиальные громкоговорители имеют согласующий трансформатор, необходимый для подключения к трансляционной сети со стандарт-

ным напряжением (30, 120 или 240 *в*) и дающий возможность снижать потребляемую мощность в 2 или 4 раза. Схема соединения головок с согласующим трансформатором показана на рис. 22. Основные параметры и некоторые конструктивные данные радиальных громкоговорителей приводятся в приложении 2.

РУПОРНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Причина низкой эффективности излучателя малых размеров (по сравнению с длиной волны) коренится в быстром уменьшении звукового давления по мере удаления от излучателя, так как воздушные области сжатия и разрежения тут же получают возможность рассеиваться в окружающем пространстве. Если же громкоговоритель заставить работать через рупор, то этого не случится, так как с помощью рупора происходит концентрация звукового давления.

Поэтому рупорные громкоговорители имеют более высокий к. п. д., чем диффузорные, и позволяют получать значительные звуковые мощности; кроме того, направленность их излучения не так сильно меняется с частотой, как у диффузорных. Благодаря этому рупорные громкоговорители применяются для озвучивания больших помещений, а также улиц и площадей.

Форма и размеры рупора должны быть подобраны так, чтобы излучатель, воздействуя на внутренний объем воздуха в рупоре, мог совершать максимально возможную работу при данной амплитуде колебаний и почти независимо от частоты.

В начальной части рупор должен расширяться постепенно. Это необходимо для того, чтобы давление, создаваемое излучателем, не уменьшалось слишком резко. Выходное отверстие (устье) должно быть большим, чтобы избежать отражения от него звуковых волн обратно в рупор, вызываемое скачкообразным изменением давления на выходе рупора. Таким условиям лучше всего удовлетворяют экспоненциальные рупоры, сечение которых вначале изменяется мало, а с приближением к устью резко увеличивается; эти рупоры круглой или прямоугольной формы и получили почти исключительное применение.

От осевой длины рупора зависит низший предел излучаемых частот. Чем больше длина рупора при одних

и тех же размерах входных и выходных отверстий, тем этот предел ниже. Он характеризуется так называемой критической частотой рупора, ниже которой излучение частот происходит уже неэффективно. Поэтому в мощных уличных рупорных громкоговорителях из конструктивных соображений диапазон воспроизводимых частот ограничен пределами от 200—300 до 3 000—4 000 *гц*.

Для придания конструкции механической прочности и удобства при установке и эксплуатации рупор часто составляется из секций, входящих одна в другую.

По своему конструктивному построению рупорные громкоговорители подразделяются на два типа: с нор-

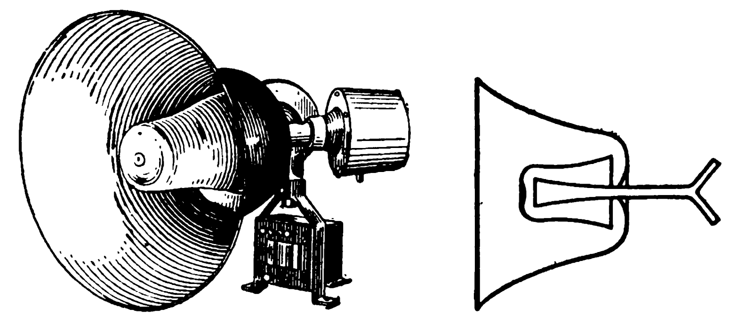


Рис. 23. Мощный уличный громкоговоритель Р-100 с нормальным трехсекционным рупором.

мальным рупором (узкогорлые) и с направляющим рупором (широкогорлые). Другими основными конструктивными элементами таких громкоговорителей являются излучающая головка и предрупорная камера.

Громкоговорители с нормальным рупором. Широко распространенный для целей оповещения уличный громкоговоритель Р-100 (рис. 23) на номинальную мощность 100 *ва* является характерным для этого типа рупорных громкоговорителей. Он имеет две головки с постоянными магнитами, специально сконструированные для работы на экспоненциальный трехсекционный рупор. Громкоговоритель снабжен согласующим трансформатором для подключения к трансляционным линиям с напряжением 60, 120 и 240 *в*.

Более совершенным является рупорный громкоговоритель 10ГРД-5. Он предназначен заменить хорошо известный громкоговоритель Р-10, используемый для це-

лей оповещения и озвучивания открытых мест. По своей конструкции новый громкоговоритель относится к нормальному типу и имеет узкогорлый трехсекционный рупор, заключенный вместе с головкой в водонепроницаемый кожух с шарнирным кронштейном для крепления. Головка громкоговорителя имеет магнитную систему из сплава АНКО-4 с высокой индукцией в зазоре (14 000 *гс*) и ввинчивается в рупор. На нижнем фланце головки крепятся согласующий трансформатор, намотан-

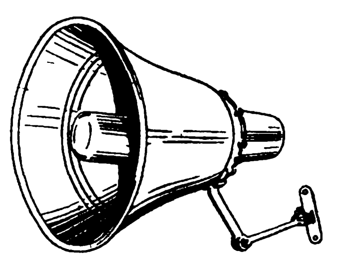


Рис. 24. Внешний вид рупорного громкоговорителя 10ГРД-5.

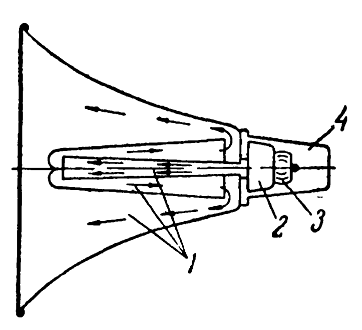


Рис. 25. Громкоговоритель 10ГРД-5 в разрезе.

1 — трехсекционный нормальный рупор; *2* — головка; *3* — тороидальный согласующий трансформатор; *4* — водонепроницаемый кожух.

ный на тороиде, а также грозоразрядник. Внешний вид громкоговорителя 10ГРД-5 показан на рис. 24, схема его устройства — на рис. 25, а основные параметры и конструктивные данные указаны в приложении 2.

Нормальные рупорные громкоговорители находят широкое применение в высокочастотных звеньях двух- и трехполосных систем. Это обуславливается тем, что при повышении нижней пограничной частоты длина рупора и размеры всего громкоговорителя становятся небольшими. При этом легкая подвижная система весьма эффективно работает в области средних и верхних частот, тем более что необходимая высокая индукция в рабочем зазоре магнита может быть легко достигнута.

Недостатком таких громкоговорителей является суженная характеристика направленности. Однако с помощью некоторых специальных конструктивных решений эта характеристика может быть расширена в нужных пределах. Одно из таких решений — многоячеечный

секционированный рупор — представляет собой совокупность нескольких экспоненциальных рупоров одинакового размера, выходные отверстия (устья) которых, соприкасаясь смежными краями, образуют многогранную (почти сферическую) поверхность (рис. 26). Такой рупор обеспечивает достаточно широкую характеристику направленности в рабочей полосе частот. Угол расхождения излучаемой звуковой энергии здесь практически не меняется с частотой, так как он определяется веером осей отдельных рупоров, хотя характеристика направ-

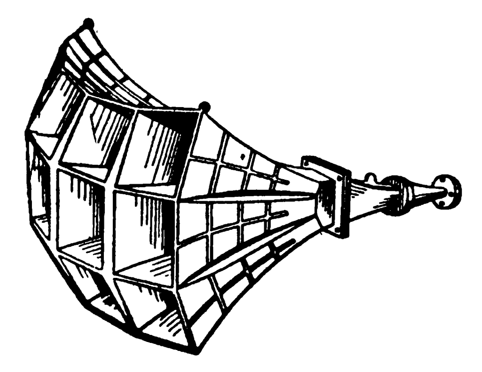


Рис. 26. Многоячеечный секционированный рупор.

ленности каждого такого рупора и обостряется с частотой.

Аналогичные результаты могут быть получены путем добавления к обычному рупору рассеивающей акустической линзы. Акустические линзы можно применять на частотах 2—3 *кгц* и выше, причем для расширения характеристики направленности громкоговорителя линза должна быть рассеивающей.

Принцип действия линз основан на разности скоростей распространения колебаний в зависимости от плотности среды. Возможно создание линз, в которых изменение эффективной скорости звука достигается удлинением пути звуковой волны. Применяя систему щелей, расположенных с соответствующим наклоном, можно получить нужный эффект. На рис. 27,*а* схематично изображена рассеивающая линза, имеющая щели одинакового наклона, но разной длины. Такая линза называется

плоскогиперболической (по форме плоскостей, которые ее образуют). Аналогичная по конструкции линза (рис. 27,*б*), имеющая щели с разным наклоном, называется линзой с переменным показателем преломления. Для обеспечения на выходе сферического или кругового цилиндрического распространения звуковых волн угол наклона щелей должен изменяться по мере удаления от оси линзы по определенному закону.

На рис. 28 показан рупор с рассеивающей линзой (с переменным показателем преломления) для высоко-

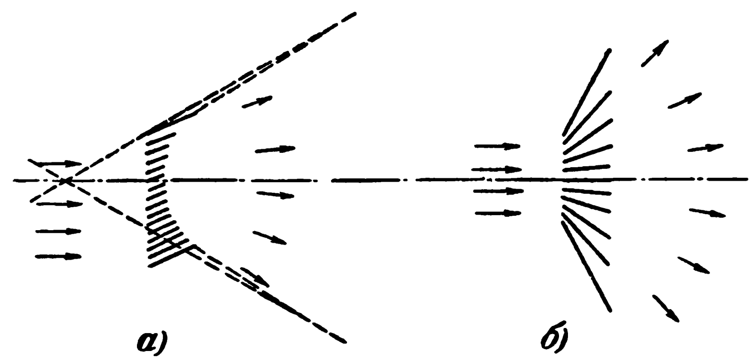


Рис. 27. Принцип действия акустических линз.
а — плоскогиперболическая; *б* — с переменным показателем преломления.

частотной головки двухполосного громкоговорителя типа 30А-3, предназначенного для обслуживания средних кинотеатров. Такой рупор обеспечивает заданную направленность излучения (не менее 35°) во всем диапазоне рабочих частот.

Громкоговорители с направляющим рупором. В радиофикации широкое распространение получили громкоговорители, у которых в качестве излучающих систем применяются обычные электродинамические громкоговорители с диффузорами порядка 15—20 *см* в диаметре, работающие на рупоры с большими площадями входного отверстия (в 1,5—2 раза меньше излучающей поверхности диффузора, у нормального рупорного — в 10—15 раз). Их принято называть громкоговорителями с направляющими рупорами.

При применении направляющего рупора увеличивается эффективность излучения передней стороны диф-

фузора из-за ограничения угла излучения, что приводит к более рациональному использованию мощности громкоговорителя. По к. п. д. такие громкоговорители уступают нормальным рупорным громкоговорителям, однако простота конструкции и возможность применения в качестве головок типовых диффузорных громкоговорителей с постоянным магнитом делают их более доступными.

Долгое время единственным образцом массового громкоговорителя с направляющим рупором был громкоговоритель типа Р-10. Он предназначался для работы на улицах, площадях, в больших закрытых поме-

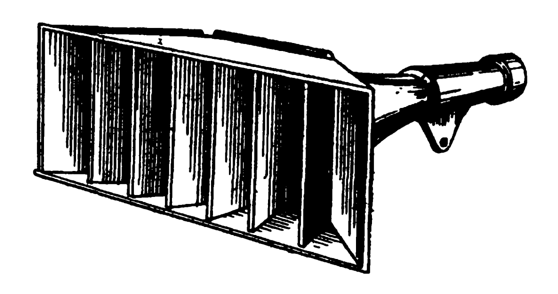


Рис. 28. Рупор с линзой для кинотеатрального громкоговорителя 30А-3.

щениях и имел круглый алюминиевый свернутый рупор, внутри которого в особом обтекаемом кожухе находились излучающая головка и согласующий трансформатор для подключения к трансляционным линиям с напряжением 30, 120, 240 *в*.

В настоящее время разработана группа мощных громкоговорителей с направляющим рупором, предназначенных для озвучивания открытых пространств. Их электроакустические параметры, определяющие качество звучания, должны быть не ниже второго класса. Это достигается при хороших экономических показателях только с помощью высококачественных диффузорных громкоговорителей, снабженных направляющим рупором. Группа мощных громкоговорителей в основном комплектуется из четырех унифицированных деталей: двух диффузорных головок с номинальной мощностью 25 *ва* (25ГД-1) и 50 *ва* (50ГД-1) и двух широкогорлых

рупоров (круглой и прямоугольной формы). Из этих деталей составляются одноголовочный излучатель или группа из двух таких излучателей, позволяющая иметь пять разновидностей уличных громкоговорителей на номинальные мощности 25, 50 и 100 *ва*. Обе головки (диффузорные громкоговорители) имеют одинаковые внешние размеры (диаметр 300 и высоту 260 *мм*) и диффузоры диаметром 250 *мм*. Индукция в рабочем зазоре каждой головки создается мощным кольцевым магни-

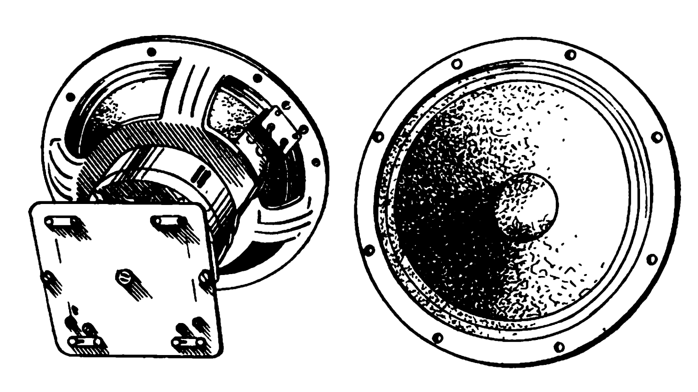


Рис. 29. Внешний вид головки 50ГД-1.

том из сплава АНКО-4 и достигает 14 000 *гс*. Внешний вид головки 50ГД-1 показан на рис. 29.

Для обеспечения влагоустойчивости при работе на открытых площадях подвижная система головок пропитывается специальным водоотталкивающим составом. Головки вместе с согласующим трансформатором заключены в круглый кожух, к которому крепится круглый или прямоугольный рупор. Круглый рупор имеет диаметр устья 400 *мм* и полную длину вместе с головкой 720 *мм*. Прямоугольный рупор имеет размеры устья 700×180 *мм* и полную длину 730 *мм*. Громкоговорители могут работать от трансляционной сети с напряжением 30, 120 или 240 *в* и при мощностях, соответствующих 1; 0,5 или 0,25 номинальной (ступени по 3 *дб*).

Вариант громкоговорителя на 100 *ва* (100ГРД-1) с круглыми рупорами и головками типа 50ГД-1 приведен на рис. 30,*а*. Он состоит из двух громкоговорителей по 50 *ва* (50ГРД-8), устанавливаемых в общем крепле-

нии, предусматривающем возможность поворота их на угол 90°. Этим достигается возможность получения различных характеристик направленности во взаимно-перпендикулярных плоскостях (рис. 31). Замена в этих громкоговорителях головок 50ГД-1 головками 25ГД-1

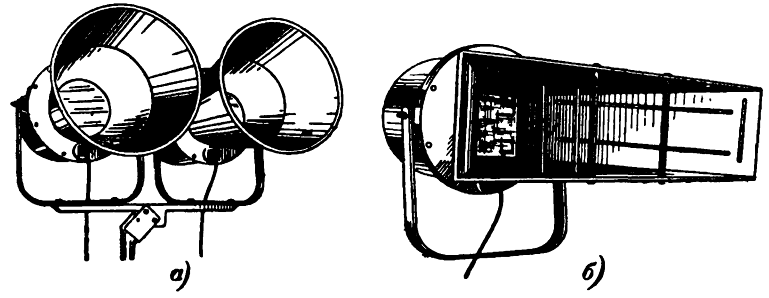


Рис. 30. Внешний вид мощных громкоговорителей с направляющим рупором.

а — 100ГРД-1; *б* — 25ГРД-1

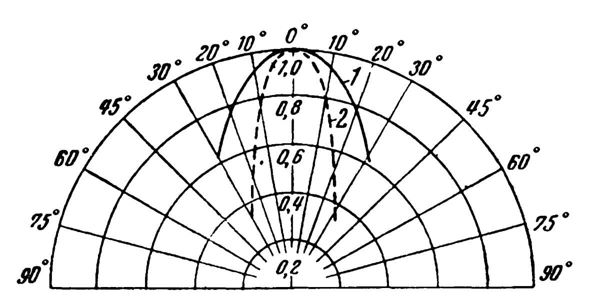


Рис. 31. Типовая характеристика направленности рупорных громкоговорителей, расположенных, как показано на рис. 30.

1 — в вертикальной плоскости; *2* — в горизонтальной плоскости.

позволяет создать громкоговоритель мощностью 50 *ва* (50ГРД-9), внешне ничем не отличающийся от предыдущего. Одиночный громкоговоритель этой группы имеет номинальную мощность 25 *ва* и маркировку 25ГРД-2. Чтобы иметь возможность изменять характеристику направленности одиночного громкоговорителя, применяется рупор с прямоугольным сечением. Такой громкоговоритель на 25 *ва* (25ГРД-1) изображен на рис. 30,*б*.

Типовая характеристика направленности громкоговорителей 100ГРД-1, 50ГРД-9 и 25ГРД-1 показана на рис. 31. При повороте громкоговорителей на 90° характеристики направленности меняются местами. Основные данные описанных рупорных громкоговорителей приведены в приложении 2.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ

Современные радиоприемники и усилители, имеющие тщательно разработанные схемы, при правильном выборе громкоговорителей и их внешнего оформления (ящики, экраны и т. п.) могут обеспечивать звуковоспроизведение достаточно высокого качества.

Роль внешнего оформления. Условия излучения громкоговорителем звуковой энергии нижних частот весьма неблагоприятны и существенно зависят от конструкции его внешнего (акустического) оформления. Дело в том, что диффузор громкоговорителя при движении вперед сжимает воздух впереди себя и разрежает его сзади. Эти области сжатия и разрежения воздуха, огибая диффузор, «накладываются» друг на друга. В результате звуковое давление сильно ослабляется. При движении диффузора назад получается аналогичное явление[1]. Такой эффект называют акустическим «коротким замыканием» (рис. 32,*а*).

Для устранения этого явления громкоговоритель укрепляют на щите (экране), разграничивающем переднюю и заднюю излучающие стороны диффузора. Если размеры щита (*d* — сторона квадрата или диаметр круга) не меньше половины длины волны, соответствующей самой нижней излучаемой громкоговорителем звуковой частоты, то «короткое замыкание» наблюдаться не будет и при всех меньших длинах излучаемых волн. При этом изменения в воздушном слое, непосредственно примыкающем к диффузору, будут передаваться соседним слоям воздуха и направляться дальше, т. е. будет происходить излучение звука (рис. 32,*б*).

---

[1] Способность звуковых волн огибать препятствия, находящиеся на пути их распространения (дифракция), выражается тем более отчетливо, чем больше длина звуковой волны по сравнению с размерами препятствия.

Для хорошего воспроизведения самых низких частот требуется очень большой экран. Так, для обеспечения нормальной работы громкоговорителя при частоте 50 *гц* (длина волны $\lambda=680$ *см*) необходим щит со стороной 340 *см*. Такие большие размеры неприемлемы, и к ним не всегда следует стремиться, так как большой щит бесполезен, если резонансная частота подвижной системы лежит значительно выше самых низких частот воспроизводимого диапазона.

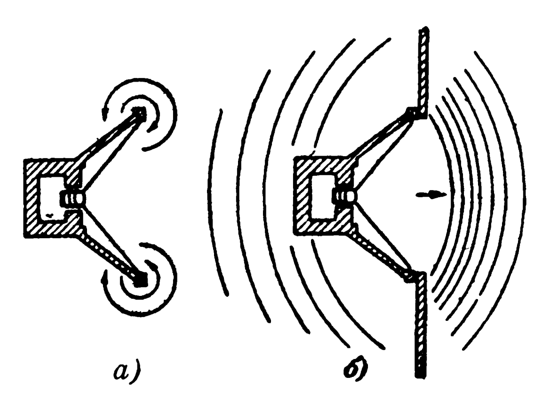


Рис. 32. Схема работы диффузорного громкоговорителя.
а — без экрана; *б* — с бесконечно большим экраном.

При некоторых условиях вполне удовлетворительные результаты получаются и при меньших размерах щитов, особенно в тех случаях, когда применяемый громкоговоритель имеет собственный резонанс подвижной системы порядка 80—100 *гц*. На рис. 33 дан график для определения размера большей стороны щита d (рис. 34,*а*) в зависимости от заданной нижней граничной частоты $f_н$, определяемой техническими условиями, от которых зависит также выбор нужного типа громкоговорителя (в основном резонансной частоты его подвижной системы). Для обеспечения лучшей частотной характеристики в области средних частот щит должен быть не квадратным, а с отношением сторон 3 : 2 или 4 : 3; лучше если он имеет неправильную форму. Хорошо, если и громкоговоритель размещен не в центре щита.

Для установки громкоговорителей широко исполь-

зуются ящики с открытой задней стенкой. Ящик можно рассматривать как сложный акустический экран (щит) со стороной $d=a+2b$ (рис. 34,б). Определив d по приведенному выше графику (рис. 33), следует основные размеры ящика (длину a, глубину b, высоту h) взять с соотношением 2 : 1 : 1,5 или рассчитать их, исходя из других конструктивных данных; хорошо также, если соотношение размеров ящика удовлетворяет так называемому закону «золотого деления», т. е. пропорции $a : h=h : b$. Приведенные соображения дают возможность ориентировочно определить конструктивные размеры ящика. Кроме того, следует придерживаться правила, что чем ниже собственная резонансная частота подвижной системы громкоговорителя, тем ящик должен быть больше.

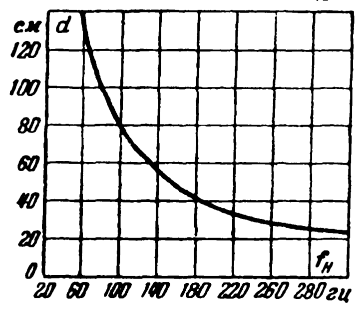


Рис 33. График для выбора размеров акустического экрана.

Может показаться, что вместо большого щита или ящика без задней стенки можно применить ящик меньших размеров, но с задней стенкой, преграждающей путь излучению от обратной стороны диффузора и, следовательно, исключающей возможность акустического «короткого замыкания». Однако это не так. Упругость замкнутого в ящике воздушного объема, складываясь с упругостью механической системы громкоговорителя, повышает его собственную резонансную частоту и тем самым еще больше уменьшает отдачу на самых низких частотах. Наличие такого замкнутого объема вызывает

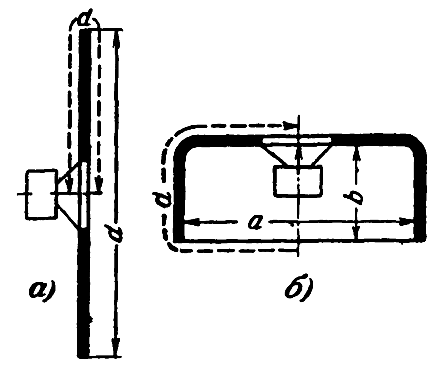


Рис. 34. Размещение громкоговорителей.

а — на экране с расчетным размером d; б — в ящике с эквивалентным размером $d=a+2b$.

и нежелательные резонансные явления на более высоких частотах. Кроме того, в закрытых ящиках ухудшается охлаждение ламп и деталей приемно-усилительной части, и поэтому такие ящики почти не применяются.

Радиолюбительские конструкции, имеющие мощный выходной каскад (до 15—20 *вт*) и громкоговорители с низким собственным резонансом, нужно располагать в больших ящиках консольного типа. При этом следует учитывать эстетические соображения, размеры комнаты и т. п.

Иногда бывает целесообразно размещать громкоговорители отдельно от приемника или усилителя, особенно если их можно повесить или поставить в угол комнаты. Это увеличивает эффективность воспроизведения нижних частот, так как угол образует своего рода большой рупор. Конструкция, располагаемая в углу комнаты внизу, может быть выполнена в виде щита, прикрепляемого противоположными сторонами к стенам, образующим угол, или в виде трехгранного ящика. Верх конструкции должен быть открыт и, так же как отверстия для громкоговорителя, затянут материей, улучшающей наружный вид и несколько защищающей угол комнаты от накопления пыли. В щите, располагаемом сверху, нужно предусмотреть свободный выход колебаний, создаваемых задней стороной диффузора, оставив широкую щель между верхней кромкой щита и потолком (рис. 35). Громкоговорители полезно обвернуть одним — двумя слоями легкой материи (например, марлей), предохраняющей от проникновения пыли в подвижную систему.

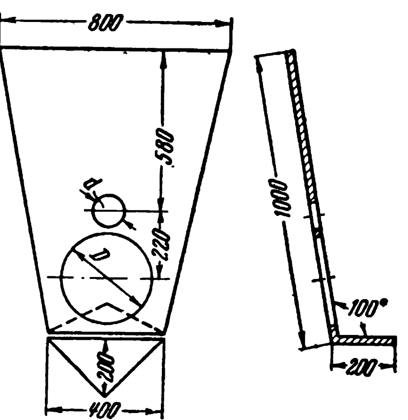


Рис. 35. Акустический экран (щит) для двухполосного агрегата, располагаемый в верхнем углу комнаты.

Для улучшения звучания на нижних частотах можно

применить фазоинвертор — закрытый ящик с дополнительным отверстием, располагаемым обычно под громкоговорителем. Размеры ящика и этого отверстия рассчитываются таким образом, чтобы звуковые колебания нижних частот, излучаемые диффузором и выходящие из отверстия, были в одной фазе. Закрытый ящик и смонтированный в нем громкоговоритель представляют собой две связанные акустические системы; объем воздуха, заключенный в дополнительном отверстии, связывает обе системы и обеспечивает нужное соотношение фаз. Правильная работа фазоинвертора зависит от величины этого объема, определяемого площадью дополнительного отверстия и толщиной стенок. Конфигурация отверстия и его расположение на передней стенке могут быть любыми.

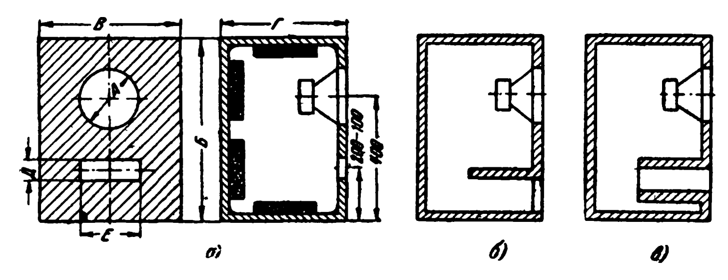


Рис. 36. Схемы конструкций фазоинверторов.
а — простая; *б* — с полкой; *в* — с трубой.

Изменяя размеры дополнительного отверстия, можно подобрать нужное звучание нижних частот. Выходное отверстие может быть отгорожено от громкоговорителя полкой или соединяться с внутренним объемом через короткую трубу (обычно прямоугольного сечения). Такие конструктивные решения позволяют получить хорошее воспроизведение нижних частот при сравнительно небольших внешних габаритах.

Наиболее простые конструкции фазоинверторов схематически показаны на рис. 36. Внутренние стенки фазоинвертора необходимо частично или полностью покрывать звукопоглощающим материалом[1]. Благодаря

[1] Такими материалами являются древесно-волокнистые плиты, минеральная, обычная или стеклянная вата, войлок и т. п.

этому устраняется нежелательное влияние собственных колебаний воздуха внутри ящика в области верхних частот.

При правильном выборе конструкции фазоинвертора отдача громкоговорителя в области частот 80—250 *гц* может увеличиться более чем в 2 раза (на 6—8 *дб*). Кроме того, вследствие демпфирования подвижной системы громкоговорителя из-за повышения ее активной нагрузки уменьшаются нелинейные искажения. Влияние демпфирования проявляется сильнее на частоте собственного резонанса, при которой нелинейные искажения наибольшие.

Применение фазоинвертора целесообразно лишь при отдельном размещении приемно-усилительной части. Для фазоинвертора весьма подходит трехгранный ящик, который можно расположить в углу комнаты. Размеры одного из наиболее простых фазоинверторов (рис. 36,*а*), выбранные в зависимости от применяемого громкоговорителя, даны в табл. 4.

Таблица 4

Конструктивные размеры фазоинвертора (к рис. 36, *а*)

Диаметр громкоговорителя, *мм*	Размеры, *мм*					
	А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*
200	162	575	450	250	75	240
250	212	700	550	325	100	325
300	262	850	675	350	125	425
380	345	1 000	750	450	175	550

Расстояние от осевой линии дополнительного отверстия до ближайшей стенки ящика выбирается в пределах 200—100 *мм* в зависимости от диаметра диффузора громкоговорителя и других конструктивных соображений. Дополнительное отверстие может быть выполнено в виде нескольких рядов малых отверстий диаметром 12—20 *мм*. Количество их должно быть таким, чтобы сумма поперечных сечений несколько превышала площадь необходимого дополнительного отверстия фазоинвертора. При этом наиболее эффективную площадь подбирают, затыкая то или иное количество отверстий.

Для изготовления фазоинверторов, а также акустических экранов (в виде щитов и ящиков) необходимо при-

менять материалы, обладающие достаточной жесткостью. Хорошим материалом является многослойная фанера толщиной 10—15 *мм*. Щиты и стенки ящиков должны быть хорошо пригнаны, проклеены и прошпаклеваны. Никакие щели или трещины недопустимы. Плохой ящик из-за вибрации его стенок может вызвать дребезжание или другие призвуки, а также ухудшить частотную характеристику громкоговорителя.

Возможно применение и более тонкого материала (5—8 *мм*), но в этом случае для увеличения жесткости стенок необходимо делать каркас (решетку), что существенно усложняет конструкцию.

Для сглаживания и подавления вибраций применяются специальные демпфирующие покрытия. С их помощью увеличивается общее затухание (точнее, декремент затухания) стенок ящика и тем самым уменьшается амплитуда вибраций.

Благодаря применению демпфирующих покрытий можно изготавливать ящики и акустические экраны из тонкой фанеры (3—6 *мм*). Наиболее подходящим покрытием может служить рубероид. Он имеет толщину около 1,5 *мм*. При помощи растворенного в бензине резинового клея, битума или просто без клея после разогрева паяльной лампой поверхности рубероида последний можно наклеивать в два-три слоя на фанеру.

С фанерой нужно склеивать поверхность рубероида, не покрытую слюдой или крошкой. Другую поверхность рубероида для ее украшения можно оклеить тонким картоном, плотной оберточной бумагой или тонкой фанерой (0,5—1 *мм*). Склеиваемые поверхности должны быть плотно сжаты до полного высыхания клея или остывания (отвердевания) расплавленного битума. Кроме рубероида, для демпфирования можно применять битумную мастику № 579 или 580, наносимую на стенку ящика слоем толщиной 3—4 *мм*.

Следует отметить, что выпускаемые для строительных целей древесно-волокнистые плиты являются хорошим поглотителем звука и с успехом могут применяться как звукопоглощающий материал в фазоинверторах. Такие же древесно-волокнистые плиты толщиной 8—12 *мм*, покрытые тонкой фанерой, могут быть использованы для изготовления ящиков. Этот искусственный материал обладает более высоким декрементом затухания,

чем дерево, и поэтому более надежен в смысле отсутствия дребезжания, чем фанера.

Ящик фазоинвертора должен устанавливаться на пол на толстых (30—50 *мм*) резиновых подкладках, чтобы вибрации на нижних частотах не передавались по строительным конструкциям (балки и настил пола). Если в ящике фазоинвертора будут установлены дополнительные диффузорные высокочастотные громкоговорители, то их следует сзади прикрыть каким-либо жестким колпаком, чтобы исключить воздействие на них излучения обратной стороны низкочастотной головки.

Выбор громкоговорителя. Номинальная мощность громкоговорителя должна быть равна или превышать максимальную неискаженную (в пределах принятых допусков) мощность выходного каскада того устройства, для которого он выбирается. Перегружаемый громкоговоритель вносит очень большие искажения.

Другим важным условием является необходимость достаточно равномерного воспроизведения той полосы частот, на которую рассчитан приемник или отдельный усилитель низкой частоты.

Так как громкоговорители резко снижают отдачу на частотах, лежащих ниже их основной резонансной частоты (60—120 *гц*), то для лучшего воспроизведения нижних частот желательно применять громкоговорители с достаточно низкой собственной частотой резонанса.

Собственная частота резонанса подвижной системы громкоговорителя не всегда указывается в его типовых параметрах. Чаще можно встретить среднее значение этой частоты, которое у разных экземпляров громкоговорителей может отличаться от фактического на ±20 *гц* и даже больше. Определить собственную частоту резонанса можно, подавая на звуковую катушку небольшое (около 1 *в*) напряжение от генератора звуковой частоты. Изменяя его частоту в диапазоне 20—250 *гц*, добиваются максимальной амплитуды колебаний диффузора (хорошо заметных глазом); при этом по шкале генератора определяется значение резонансной частоты.

Частоту резонанса можно определить при измерении сопротивления звуковой катушки громкоговорителя в диапазоне нижних частот. Измерения проводят на частотах от 20 до 200—400 *гц* (через 5—10 *гц* в начале

диапазона, затем через 20—30 и даже 50 *гц*, смотря по ходу характеристики). Схема измерения по методу вольтметра—амперметра показана на рис. 37,*а*. В этом случае сопротивление рассчитывается по закону Ома ($R=E/I$).

Можно провести измерения и по методу замещения с помощью магазина сопротивления (рис. 37,*б*). При

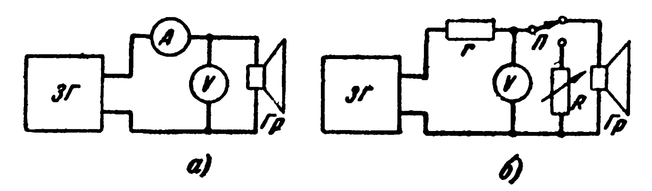


Рис. 37. Схема измерения внутреннего сопротивления громкоговорителей.

а — по методу вольтметра — амперметра; *б* — по методу замещения.

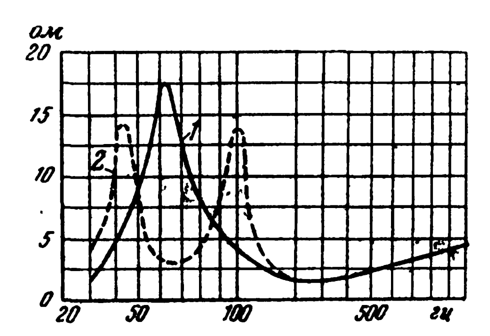


Рис. 38. Частотные характеристики полного внутреннего сопротивления диффузорного громкоговорителя.

1 — в акустическом экране; *2* — в фазоинверторе.

этом величина дополнительного сопротивления *r* должна быть в 10—20 раз больше максимальной ориентировочной величины полного внутреннего сопротивления измеряемого громкоговорителя. На магазине сопротивлений подбирают такую величину *R*, чтобы показания вольтметра *V* были одинаковыми при обоих положениях переключателя *П*.

Результаты измерений представляют в виде графика (кривая *1* на рис. 38). Частота резонанса подвижной

системы определяется по положению пика. Такие измерения позволяют судить о качестве согласования фазоинвертора с громкоговорителем; их проводят дважды: до установки громкоговорителя в фазоинвертор (на акустическом экране-щите) и после нее. При хорошем согласовании на графике должны появиться два пика меньшей высоты, располагающиеся несколько выше и ниже частоты резонанса, измеренной вначале (кривая *2* на рис. 38).

Кроме обычного понижения чувствительности в области самых нижних частот (ниже 150—200 *гц*), а также верхних частот (выше 5 000—6 000 *гц*), частотная характеристика электродинамического громкоговорителя отличается значительной неравномерностью (пики и провалы) в рабочей полосе частот. Из-за этих особенностей громкоговоритель не обеспечивает хорошего звучания, хотя сам приемник или усилитель обладает необходимой частотной характеристикой. Применяя одновременно два громкоговорителя одинаковой мощности, можно получить значительно лучшие результаты.

Для совместной работы громкоговорителей необходимо, чтобы частоты основного резонанса каждого громкоговорителя различались на 20—30 *гц*, причем желательно, чтобы низшая частота резонанса была не выше 70—80 *гц*.

Повышение качества звуковоспроизведения при двух громкоговорителях объясняется тем, что суммарная частотная характеристика становится более равномерной. Выравнивание характеристики происходит потому, что разные экземпляры громкоговорителей одного и того же типа имеют неодинаковые частотные характеристики, причем провалы и пики оказываются на разных частотах. Кроме того, сдваивание громкоговорителей почти в 2 раза повышает к. п. д. (отдачу). Это происходит потому, что благодаря двойному увеличению эффективной поверхности диффузора излучаемая звуковая энергия возрастает почти в 4 раза, а потребляемая от усилителя электрическая мощность только удваивается.

Иногда целесообразно применять еще большее количество одинаковых громкоговорителей.

В установках с выходной мощностью порядка 10—15 *вт* следует применять два громкоговорителя по 5—8 *ва* от радиовещательных приемников первого или

второго класса. Для установок меньшей мощности подойдут громкоговорители, имеющие мощность 1—3 *ва*.

При сдваивании громкоговорителей их нужно правильно сфазировать. Такая фазировка осуществляется визуально с помощью батареи с напряжением 1,5—4,5 *в*, которая присоединяется к выводам звуковой катушки громкоговорителя. Переключая выводы звуковой катушки, добиваются того, чтобы оба диффузора при включении батареи двигались в одну сторону. Затем, отметив полярность включения выводов звуковых катушек, соответственно подсоединяют их (одноименные полюсы — при параллельном соединении и разноименные — при последовательном).

Правильность фазировки можно проверить и на слух, пробуя переключать концы звуковой катушки одного из громкоговорителей (или обмотки возбуждения). При неправильном включении громкость на нижних и средних частотах заметно уменьшается. Такой способ пригоден только при сдваивании громкоговорителей. При большем их количестве фазировка на слух становится трудной.

Высококачественное звуковоспроизведение может быть обеспечено при учете особенностей излучения как нижних, так и верхних частот. Если громкоговорители расположены в глубине ящика или в прорези, сделанной в толстой стенке (20—30 *мм*), то воспроизведение верхних частот может ухудшиться, так как перед диффузорами имеется сравнительно большой объем воздуха. В этом случае отверстие для громкоговорителя целесообразно выполнить в виде конуса с углом 45° (между образующей конуса и поверхностью стенки) или крепить громкоговоритель на наружной стороне.

На воспроизведение верхних частот существенно влияет характеристика направленности громкоговорителя. С повышением частоты или на данной частоте с увеличением диаметра диффузора характеристика направленности становится более острой, т. е. звуковое давление, развиваемое громкоговорителем на одном и том же расстоянии, но под разными углами к его оси, уменьшается тем быстрее, чем выше частота и больше угол. В результате качество звучания громкоговорителя оказывается лучшим для слушателей, сидящих вдоль его оси, и худшим для слушателей, расположенных по сто-

ронам. По этим причинам, например, нельзя рекомендовать размещение громкоговорителей на верхних или боковых стенках ящиков. Чтобы избавиться от этого недостатка, разработаны акустические системы, имеющие достаточно равномерную характеристику направленности на всех частотах.

Заметный эффект может дать подключение дополнительного громкоговорителя для воспроизведения верхних частот. Пригодные для этого типы громкоговорителей указаны выше.

Такой дополнительный громкоговоритель можно подключить через разделительный конденсатор парал-

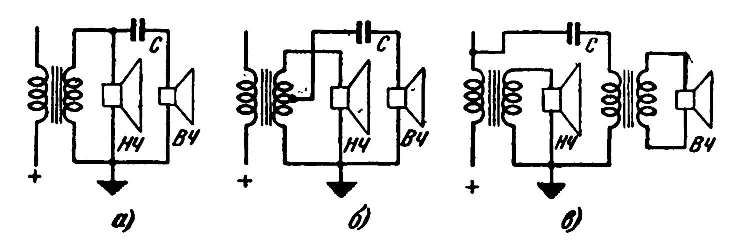


Рис. 39. Схемы присоединения высокочастотного (ВЧ) громкоговорителя.

лельно имеющемуся в аппаратуре громкоговорителю, воспроизводящему всю рабочую полосу частот (рис. 39,*а*). Назначение разделительного конденсатора — ограничить амплитуду колебаний на нижних частотах (400—300 *гц* и ниже) и предохранить дополнительный громкоговоритель от механических перегрузок. Это позволяет подавать на него мощность, бо́льшую, чем номинальная. В качестве разделительного конденсатора обычно применяется бумажный емкостью 1—10 *мкф* (емкость выбирается в зависимости от соотношения внутренних сопротивлений обоих громкоговорителей). Если сопротивление основного громкоговорителя намного (в 3—4 раза) больше сопротивления подключаемого, то последний следует подключать к части витков вторичной обмотки выходного трансформатора (рис. 39,*б*) или к другой отдельной обмотке.

Можно применять два отдельных трансформатора, работающих на разные громкоговорители или их группы (рис. 39,*в*). В этом случае упрощается надлежащее

согласование нагрузочных сопротивлений и мощностей. Кроме того, при повышенных выходных мощностях (10—15 *вт* и выше) выгоднее изготовить два выходных трансформатора, рассчитанных на работу в узкой рабочей полосе (НЧ и ВЧ), чем один на широкую полосу. При этом уменьшаются интермодуляционные искажения, возникающие в выходных трансформаторах, работающих в широкой полосе частот. При правильном подборе разделительного конденсатора и соответствующей

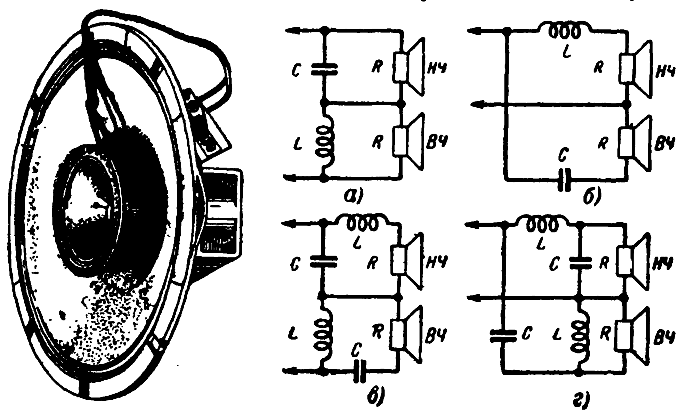


Рис. 40. Соосное расположение двух громкоговорителей.

Рис. 41. Схемы разделительных фильтров.

вторичной обмотке трансформатора можно значительно улучшить воспроизведение верхних частот. При этом выходной каскад должен обеспечивать достаточную мощность для работы двух громкоговорителей.

Весьма эффективно как по акустическим, так и по конструктивным соображениям смонтировать дополнительный громкоговоритель внутри большего (рис. 40). Такая соосная конструкция имеет широкое распространение за рубежом и находит применение у нас.

Двухполосное воспроизведение. Значительное повышение качества звуковоспроизведения достигается при раздельном воспроизведении верхних и нижних частот отдельными электродинамическими громкоговорителями. Практически достаточно подразделить рабочую полосу частот только на две части: от 30—40 до 500—1 000 и от 500—1 000 до 10 000—12 000 *гц* (частота раз-

деления в пределах 500—1000 *гц*). При необходимости воспроизведения еще более высоких частот (до 15—18 *кгц*) частоту разделения можно повысить до 3—4 *кгц*.

Такие двухполосные громкоговорители обеспечивают эффективное воспроизведение широкой полосы частот с малой неравномерностью. При этом значительно уменьшаются интермодуляционные искажения, так как одновременное излучение низших и высших частот осуществляется разными подвижными системами.

По конструктивному построению двухполосные громкоговорители можно подразделить на соосные (рис. 40) и с разнесенными осями. В них используются как диффузорные, так и рупорные электродинамические громкоговорители, причем последние используются главным образом для воспроизведения верхних частот. Такие агрегаты широко применяются в мощных звуковоспроизводящих установках, обслуживающих кинотеатры, залы и открытые площади.

Разделительные фильтры. Звуковые катушки низкочастотного и высокочастотного громкоговорителей, работающих в двухполосной системе, необходимо подключать к выходу усилителя через разделительный фильтр, служащий для распределения подводимой электрической мощности на две части таким образом, чтобы колебания с частотами, лежащими ниже частоты деления, подавались на низкочастотный громкоговоритель, а колебания с частотами, лежащими выше, — на высокочастотный.

Схемы разделительных фильтров приведены на рис. 41. Они построены с учетом того обстоятельства, что емкостное сопротивление конденсатора падает с частотой, тогда как индуктивное сопротивление дросселя возрастает. Звуковые катушки громкоговорителей в схемах на рис. 41,*а* и *в* включены последовательно, а в схемах на рис. 41,*б* и *г* — параллельно выходу усилителя.

Емкость конденсаторов и индуктивность дросселей разделительных фильтров выбирают в зависимости от сопротивления звуковых катушек и выбранной частоты разделения. При равенстве сопротивлений звуковых катушек низкочастотного и высокочастотного громкоговорителей емкость конденсаторов и индуктивность дросселей рассчитываются по формулам, приведенным в табл. 5,

Таблица 5

Формулы для определения индуктивности и емкости разделительных фильтров

Детали	Для схем на рис. 41,		
	а и *б*	*в*	*г*
L, *гн*	$\frac{R}{\omega_р}$	$\frac{R}{1{,}4\,\omega_р}$	$\frac{1{,}4\,R}{\omega_р}$
C, *ф*	$\frac{1}{\omega_р R}$	$\frac{1{,}4}{\omega_р R}$	$\frac{1}{1{,}4\,\omega_р R}$

где R — сопротивление звуковых катушек (*ом*), а $\omega_р = 6{,}28 f_р$ — круговая частота разделения ($f_р$ — в герцах).

В случае различных сопротивлений звуковых катушек громкоговорителей их следует уравнять при помощи согласующего трансформатора. Такой трансформатор лучше применять для высокочастотного громкоговорителя. Его коэффициент трансформации вычисляется по формуле

$$n = \sqrt{\frac{R_н}{R_в}},$$

где $R_н$ — сопротивление низкочастотного громкоговорителя;

$R_в$ — сопротивление высокочастотного громкоговорителя.

Входное сопротивление агрегата, подключаемого к усилителю через фильтры, рассчитанные по формулам в табл. 5, почти не зависит от частоты и численно равно входному сопротивлению одного громкоговорителя, если, конечно, оно само мало зависит от частоты. Такая малая зависимость как раз существует в электродинамических громкоговорителях, хорошо согласованных со своим акустическим оформлением. Поэтому выходной трансформатор усилителя низкой частоты следует рассчитывать обычным порядком, учитывая суммарную мощность всех громкоговорителей, а сопротивление — только одного.

Намотку дросселей, включаемых последовательно с громкоговорителем, нужно выполнять достаточно тол

стым проводом, чтобы их собственное активное сопротивление было в 10—20 раз меньше, чем сопротивление звуковой катушки.

При использовании фильтров, выполненных по схемам на рис. 41 согласно приведенным расчетным формулам, мощность, подводимая к двухполосному агрегату на частоте разделения $f_р$, делится поровну между громкоговорителями. На этой частоте затухание, вносимое каждым из фильтров, равно 3 *дб*.

Схемы на рис. 41,*в* и *г* обеспечивают лучшее постоянство входного сопротивления и имеют лучшую крутизну спада (9,3—14 *дб* на октаву), чем более простые схемы на рис. 38,*а* и *б*, крутизна спада у которых составляет всего 4—5 *дб* на октаву. Однако в большинстве случаев, особенно в установках, к которым не предъявляются особо жесткие требования, допустимы и эти простейшие фильтры.

В каждой группе (НЧ или ВЧ) могут работать один-два и больше громкоговорителей в зависимости от соотношения мощностей усилителя и громкоговорителей. В низкочастотном звене НЧ желательно иметь не менее двух громкоговорителей, располагаемых рядом на фронтальной панели, а в высокочастотном звене ВЧ — еще большее их число (3—4 шт.), располагая их подальше друг от друга и не только на фронтальной панели. Некоторые рекомендации по размещению громкоговорителей даны ниже.

Соединять работающие совместно однотипные громкоговорители можно параллельно или последовательно. С энергетической стороны это безразлично, но электроакустические соображения, приведенные выше, указывают на желательность демпфирования одного громкоговорителя входным сопротивлением другого. Такое взаимное демпфирование возможно при параллельном соединении звуковых катушек. Демпфирование наиболее эффективно в области частот собственного резонанса при достаточном различии этих частот (20—30 *гц*) у соединяемых громкоговорителей. Это положение хорошо согласуется и с требованиями к частотной характеристике, а поэтому громкоговорители, работающие в низкочастотной или широкой полосе, предпочтительнее соединять параллельно.

Что касается высокочастотных громкоговорителей,

то в этом диапазоне демпфирование подвижной системы не имеет столь существенного значения, но лучше соединять их последовательно, так как при этом требуется меньшая разделительная емкость. Кроме того, при последовательном соединении обрыв цепи одного из громкоговорителей легко можно заметить на слух, так как при этом выключается все звено. При параллельном же соединении такое нарушение мало заметно.

Выбор соответствующего соединения громкоговорителей должен производиться в последнюю очередь. Сначала должны быть подобраны полные входные сопротивления ВЧ и НЧ звеньев так, чтобы между ними правильно распределялась звуковая мощность и было осуществлено согласование нагрузок.

Кроме описанного способа разделения частот на выходе, применяются также схемы разделения на входе усилителя или где-либо в промежуточных каскадах. Такой способ сквозного двухполосного усиления позволяет значительно улучшить все качественные характеристики звуковоспроизводящей системы. При этом способе, помимо описанного выше надлежащего фазирования звуковых катушек громкоговорителей, требуется также фазирование вторичных обмоток выходных трансформаторов.

Сквозное двухполосное усиление наиболее эффективно в мощных устройствах (20—25 *вт* и выше). В этом случае разделение рабочей полосы выходных каскадов позволяет выполнить их с лучшими технико-экономическими и эксплуатационными показателями.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ АППАРАТУРЫ

Рассмотрим некоторые наиболее целесообразные для радиолюбительских конструкций схемы расположения громкоговорителей, создающие эффект объемного звучания. Одна из наиболее простых, а потому и распространенных схем показана на рис. 42. На фронтальной стороне ящика располагаются два широкополосных громкоговорителя одинаковой мощности (3—5 *ва* в зависимости от мощности выходного каскада и размеров ящика) с разнесенными на 20—30 *гц* частотами основного резонанса подвижной системы. На боковых стенках размещаются два высокочастотных громкоговорите-

ля мощностью 1 *ва* каждый; они включаются в схему через разделительный конденсатор (1—10 *мкф*), ограничивающий уровень нижних частот и предохраняющий их от механических перегрузок. Здесь могут подойти овальные громкоговорители типа 1ГД-9 с повышенной частотой основного резонанса (150—180 *гц*). Крепить их нужно вертикально (по большой оси).

Вместо двух фронтальных громкоговорителей можно применить и один мощностью 5—10 *ва* с достаточно низкой частотой основного резонанса (40—50 *гц*). В этом случае предпочтение следует отдать эллиптическому громкоговорителю (например, типа 5ГД-14), расположив его большой осью по горизонтали. Для расширения и лучшей равномерности частотной характеристики желательно дополнительно разместить по фронту один или два малых высокочастотных громкоговорителя, включаемых в одну цепь с боковыми громкоговорителями. Целесообразно размещать малый громкоговоритель внутри большого, как это показано на рис. 40.

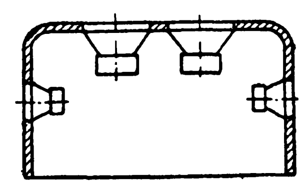


Рис. 42. Схема расположения громкоговорителей в простой системе объемного звучания.

Можно рекомендовать применение и большего числа громкоговорителей, особенно высокочастотных, если только позволяют мощность выходного каскада и размеры ящика. Высокочастотные громкоговорители могут размещаться под любым углом к основным — фронтальным и по обе стороны от них.

В жилых помещениях малого объема, обставленных большим количеством мебели и другими предметами, боковые громкоговорители могут не дать нужного эффекта. В этом случае целесообразнее располагать все громкоговорители на фронтальной панели, делая последнюю возможно длиннее (до 1,0—1,2 *м*).

Хороший эффект объемности звучания можно получить от обычного приемника или радиолы, обладающих достаточной мощностью (не менее 5—8 *вт*) и одиночным громкоговорителем, применяя дополнительные выносные громкоговорители, работающие в области только средних и верхних частот. Такая система может быть осуществлена подключением через разделительный конден-

сатор двух-трех дополнительных громкоговорителей мощностью 0,5—1 *ва*, укрепленных на небольшой доске или в ящике. Приемник или радиолу с основным громкоговорителем лучше поместить в углу, расположив дополнительные громкоговорители на расстоянии 1,5—2 *м* по обеим стенам, образующим этот угол (рис. 43).

Более эффективным может оказаться применение отдельного акустического агрегата, оформленного в спе-

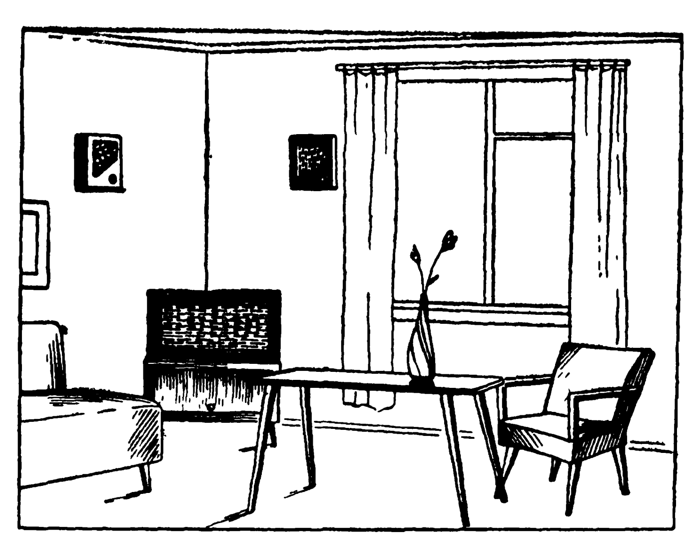


Рис. 43. Расположение дополнительных громкоговорителей на стенах комнаты при выносной системе объемного звучания.

циальном ящике в виде трехгранной призмы или хотя бы двух-трех громкоговорителей, расположенных на щите, приспособленном для крепления в углу комнаты (рис. 35).

Следует предостеречь конструкторов от излишних усложнений при расположении громкоговорителей в ящиках, на щитах и в фазоинверторах. Это особенно необходимо учитывать при использовании описаний из зарубежных журналов, так как многие американские и западноевропейские фирмы часто усложняют свои конструкции по рекламным и другим нетехническим соображениям.

Описанные выше способы получения объемности звучания путем расширения характеристики направленности звуковоспроизводящей системы не исключают другие пути улучшения качества воспроизведения и приближения его к естественному. Большие возможности в этом отношении дает использование так называемого псевдостереофонического эффекта при двухполосном воспроизведении. В этом случае в одном из трактов усиления вводят задержку сигнала по времени (фазе) с целью подбора и регулировки длительности задержки в зависимости от акустических свойств помещения, где прослушивается передача, а также от характера музыкального произведения. Осуществить временную фазовую задержку можно как в усилительной схеме, так и в акустической части устройства. В последнем случае это может быть достигнуто применением выносных громкоговорителей и надлежащим подбором их местоположения.

Кроме того, времéнные (фазовые) сдвиги получаются при совместной работе диффузорных и рупорных громкоговорителей (запаздывание за счет длины рупора), когда последние применяются для воспроизведения только средних и верхних частот. Для лучшего подбора нужного времени задержки и достижения хорошего эффекта желательно совместное применение обоих способов.

При размещении громкоговорителей в телевизорах нет надобности добиваться объемности звучания. Наоборот, чрезмерное расширение диаграммы направленности, приводящее к эффекту объемности, здесь вредит общему впечатлению из-за расхождения зрительного впечатления с звуковым. Поэтому громкоговорители в телевизорах следует располагать так, чтобы обеспечить хорошее воспроизведение всей полосы частот в относительно малом угле (не превышающем 60—70°), в котором обычно находятся зрители.

В некоторых типах телевизоров громкоговорители крепятся только к верхней или боковой стенке ящика. Такое и еще более неудачное размещение громкоговорителей (например, сзади) можно встретить и в радиолюбительских телевизорах. Отсутствие фронтального громкоговорителя приводит к ухудшению звучания, так как верхние звуковые частоты вследствие обостренной

характеристики направленности громкоговорителей не доходят до зрителей, сидящих перед экраном телевизора.

Наиболее рационально применять в телевизорах два громкоговорителя: один — небольшой овальный (например, 1ГД-9), расположенный фронтально, и второй — круглый большей мощности (например, 2ГД-3), расположенный сбоку. Фронтальный громкоговоритель должен предназначаться преимущественно для воспроизведения верхних, а боковой — для нижних частот.

Улучшить плохое звучание телевизора, имеющего только боковой громкоговоритель, можно с помощью выносного громкоговорителя. При этом не следует бояться «разрыва» между звуком и изображением, так как это может наблюдаться только при расстояниях между источником звука и экраном телевизора, превышающих 15—17 *м*.

Любой небольшой электродинамический громкоговоритель мощностью, не превышающий 1 *ва*, и с сопротивлением звуковой катушки не менее 3—4 *ом* может быть с успехом применен в качестве выносного, однако лучшим для этой цели следует считать овальный громкоговоритель типа 1ГД-9 при расположении его большей осью по вертикали. Вполне можно применить и малогабаритный абонентский (трансляционный) громкоговоритель вместе с его оформлением, отключив лишь имеющийся в нем трансформатор. Громкоговоритель без оформления следует укрепить в любом небольшом ящике или на угловой панели с размерами, позволяющими сделать отверстие по диаметру диффузора.

Звуковая катушка выносного громкоговорителя соединяется через постоянный конденсатор (бумажный или металлобумажный) емкостью 4—10 *мкф* параллельно звуковой катушке имеющегося громкоговорителя (см. рис. 39,*а*). Соблюдать правильность фазировки обеих катушек в данном случае не надо. Чем меньше сопротивление звуковой катушки выносного громкоговорителя, тем больше должна быть емкость разделительного конденсатора, но лучше его подобрать во время работы по звучанию.

Благодаря применению разделительного конденсатора выносной громкоговоритель используется только в области сравнительно высоких частот, поэтому эта

дополнительная нагрузка на выходной низкочастотный каскад телевизора не вызывает заметного увеличения искажений или каких-либо других нарушений режима работы.

Выносной громкоговоритель следует располагать невдалеке от телевизора сверху (на ящике), с любой стороны или внизу. Его можно также повесить на стену сзади телевизора. Рабочая ось громкоговорителя должна быть направлена в сторону зрителей.

В промышленных приемниках и радиолах в зависимости от их класса применяются различные акустические системы. Так, например, наиболее массовые, унифицированные приемники второго класса (например, «Байкал», «Муромец» и т. п.) имеют только два фронтальных громкоговорителя мощностью 1—2 *ва* каждый (1ГД-5 или 2ГД-3) с разнесенными на 20—25 *гц* частотами собственного резонанса. Такая простейшая система обеспечивает заметно улучшенное звучание по сравнению с приемниками старых типов («Урал», «Балтика» и др.), имевших один громкоговоритель мощностью порядка 2—3 *ва*.

Частотная характеристика современных приемников второго класса в пределах 80—8 000 *гц* имеет неравномерность не более 12 *дб* при номинальном среднем звуковом давлении 12 *дин/см*^{2}. Аналогичные приемники старых типов имеют более узкую полосу (100—4 000 *гц* с неравномерностью 14 *дб*) и развивают звуковое давление 10 *дин/см*^{2}. Характеристики направленности приемников с двумя громкоговорителями также стали значительно шире. Сравните, например, характеристики направленности, изображенные на рис. 44,*а* и на рис. 1; первые относятся к современным приемникам второго класса с двумя громкоговорителями, а вторые присущи приемникам старых выпусков с одним громкоговорителем.

Следует отметить, что все преимущества новых приемников и радиол и их акустических систем сказываются главным образом при прослушивании УКВ ЧМ станций и проигрывании высококачественных долгоиграющих пластинок.

Приемники первого класса, например приемник «Октава», имеют, помимо двух фронтальных громкоговорителей типа 2ГД-3, еще два боковых типа 1ГД-9,

подключенных к выходному трансформатору через конденсатор. Их расположение примерно такое, как на рис. 42. Благодаря применению такой системы удается улучшить характеристику направленности (рис. 44,*б*) и расширить осевую частотную характеристику до пределов 60—12 000 *гц* с неравномерностью 12—13 *дб* (низший предел расширен за счет увеличения объема ящика) при среднем номинальном звуковом давлении 13 *дин/см²*.

Приемники высшего класса, такие, как «Люкс» и «Дружба», имеют такое же количество аналогично расположенных громкоговорителей, как и приемник «Окта-

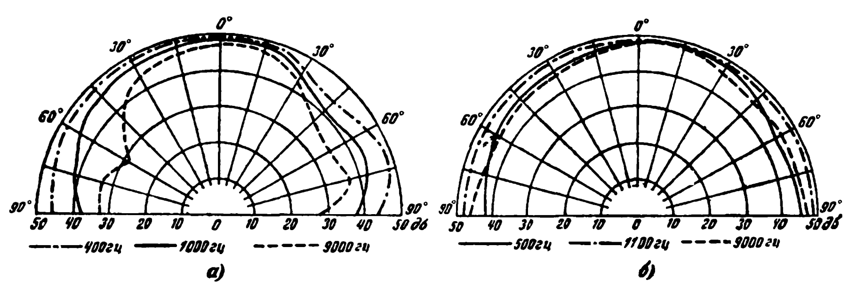


Рис. 44. Характеристики направленности акустических систем современных радиовещательных приемников.

а — приемника второго класса с двумя громкоговорителями („Байкал"); *б* — приемника первого класса с объемным звучанием („Октава").

ва», только фронтальные громкоговорители у них типа 5ГД-14 (овальные), более мощные и с несколько лучшей частотной характеристикой. При этом общая осевая частотная характеристика лежит в пределах 50—13 000 *гц* с неравномерностью 12 *дб*. Применение фронтальных громкоговорителей с большими диффузорами несколько увеличило неравномерность характеристики направленности этих приемников.

В приемниках того же класса «Фестиваль» и «Беларусь-57» применяется большее число громкоговорителей, работающих в области верхних частот. При этом вместо громкоговорителей типа 1ГД-9 в них используются более эффективные громкоговорители типа ВГД-1 («Беларусь-5») или другие специально разработанные («Фестиваль»). Номинальное среднее звуковое давление в приемниках этого класса достигает 25 *дин/см²*.

Примером наиболее совершенной акустической систе-

мы приемника высшего класса может служить система, разработанная заводом ВЭФ для настольного приемника «Аметист». Она содержит шесть громкоговорителей, расположение которых показано на рис. 45. Область средних частот воспроизводится овальным громкоговорителем 3ГД-7. Два боковых громкоговорителя типа 1ГД-9 (возможна замена их ВГД-1) воспроизводят средние и верхние частоты. Фронтальный громкоговоритель типа ВГД-1 служит для подчеркивания только верхних частот и улучшения характеристики направленности.

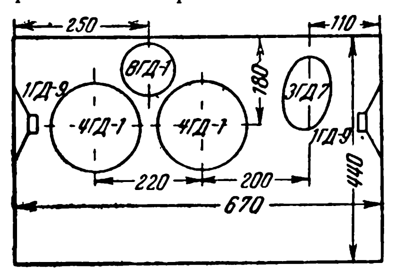


Рис. 45. Расположение громкоговорителей в акустической системе настольного приемника высшего класса („Аметист").

Упомянутые выше типы приемников и радиол имеют настольное оформление. В таких настольных радиолах оказалось почти невозможным использовать полную мощность при проигрывании пластинок из-за самовозбуждения системы на низших частотах. Для исключения такого явления в настольных радиолах приходится ограничивать предел низших частот, сужая его до 60 *гц*. При этом оптимальные частоты собственного резонанса низкочастотных громкоговорителей оказались равными для одного 70 и для другого 90 *гц*.

Более высококачественное звучание, особенно при воспроизведении грамзаписей, достигается в консольных конструкциях. Их большой объем, помимо непосредственного улучшения воспроизведения нижних частот, позволяет конструктивно отделить акустическую часть от приемно-усилительной. Это в свою очередь значительно ослабляет или совсем исключает акустическое воздействие («микрофонный» эффект) мощного излучения низших частот на электрические детали схемы.

В консольных конструкциях имеется возможность свободного размещения шести—восьми различных громкоговорителей. Поэтому консольные радиолы способны воспроизводить частоты в пределах 40—15 000 *гц* с неравномерностью порядка 9 *дб* и развивать номинальное среднее звуковое давление до 35 *дин/см²*. Кро-

ме того, наличие большего числа громкоговорителей и бо́льшие размеры таких конструкций позволяют так рассредоточить отдельные каналы, что обеспечивается некоторая локализация звучания отдельных групп музыкальных инструментов, т. е. создается эффект псевдостереофонии при воспроизведении симфонической и камерной музыки.

Весьма высококачественные акустические агрегаты используются для контроля качества радиовещательных передач и звукозаписи. Такой контроль осуществляется в студийных аппаратных во время исполнения музыкальных произведений.

Наилучший контрольный агрегат типа КА-810 имеет рабочую полосу частот 30—20 000 *гц* с неравномерностью порядка 10 *дб*. Он содержит четыре низкочастотных овальных громкоговорителя типа 10ГД-18, расположенных на фронтальной панели (они имеют собственные резонансные частоты 40, 50, 60 и 80 *гц*). Два (из четырех) высокочастотных громкоговорителя типа ВГД-1 располагаются на фронтальной панели, а два — на боковых сторонах. Расположение громкоговорителей показано на рис. 46. Питание каждого канала осуществляется от отдельного усилителя мощностью 10 *вт*. При полной мощности коэффициент нелинейных искажений всего тракта по звуковому давлению не превышает 2%.

Еще более высокие параметры, а следовательно, и лучшее качество звучания достигается в трехполосной системе, где низкочастотная часть воспроизводит полосу 40—1 000 *гц*, среднечастотная — 400—7 000 *гц* и высокочастотная от 4 до 18—20 *кгц*. Такая система может подключаться к двухканальному усилителю с частотой разделения 500—600 *гц*, причем выделение высокочастотной полосы достигается во втором канале (500—600 *гц* и выше) с помощью разделительной емкости. Один из вариантов такого включения показан на рис. 47. Каждый из условно показанных на схеме громкоговорителей может состоять из группы соответственно подобранных типов громкоговорителей, соединенных последовательно или параллельно. Более эффективной, но, конечно, и более сложной и громоздкой следует считать схему с раздельными выходными каскадами в каждой рабочей полосе.

За рубежом в трехполосных агрегатах используется соосное расположение громкоговорителей (рис. 48). Широко применяется размещение громкоговорителей и в специальных ящиках и фазоинверторах, где рабочие оси головок разнесены. Как в первом, так и во втором вариантах в качестве высокочастотных звеньев чаще

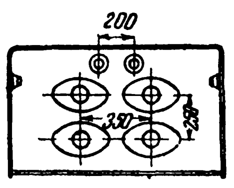


Рис. 46. Расположение громкоговорителей в контрольном акустическом агрегате КА-810.

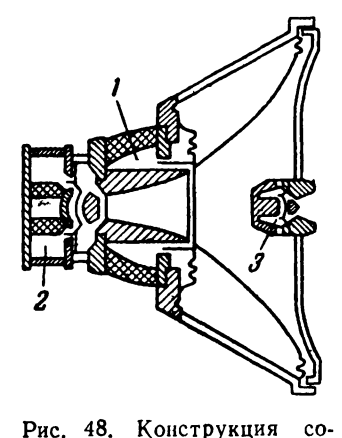


Рис. 48. Конструкция современного трехполосного громкоговорителя.

1 — низкочастотный диффузорный громкоговоритель; 2 — рупорный громкоговоритель средних частот; 3 — высокочастотный рупорный громкоговоритель.

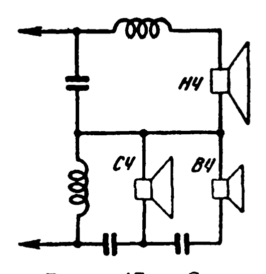


Рис. 47. Схема включения головок громкоговорителей в трехполосной системе.

всего работают рупорные высокочастотные громкоговорители со специальным многоячеечным рупором или акустической линзой. Трехполосная система предъявляет особо высокие требования к низкочастотному громкоговорителю, который должен иметь очень низкую частоту собственного резонанса (желательно 30 *гц* и ниже), т. е. большой и массивный диффузор с креплением, допускающим большие амплитуды колебаний без искажения их формы. Кроме того, у такого громкоговорителя должно быть достаточно хорошее демпфирование подвижной системы.

Наиболее близкое приближение к естественному звучанию может быть достигнуто в стереофонических си-

стемах, где полное разделение тракта передачи на два и более каналов начинается с микрофонных цепей, что делает возможным правильную локализацию источников звука в месте приема. Высокое качество звуковоспроизведения, достигнутое в широкоэкранном и панорамном звуковом кино благодаря применению соответственно 4 и 7—9 отдельных каналов, из-за больших трудностей не может быть обеспечено в современном радиовещании. Однако уже разработаны и получили распространение стереофонические граммофонные и магнитофонные записи, обеспечивающие весьма высококачественное звучание при сравнительно несложной аппаратуре. Созданы и относительно простые стереофонические системы радиовещания на УКВ ЧМ.

Стереофонические системы предъявляют ряд специальных требований к громкоговорителям и акустическим агрегатам, их размещению в помещении, где осуществляется прослушивание, и к усилительной аппаратуре. В настоящее время такие требования разрабатываются, но по ряду вопросов еще нет единого мнения.

РЕМОНТ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Успешный ремонт поврежденных громкоговорителей, т. е. восстановление их первоначальных параметров или достаточное приближение к ним, зависит от квалификации мастера, надлежащего выбора материалов для ремонта, а также от выполнения определенной технологии.

Ниже приводятся сведения о применяемых материалах и некоторые технологические рекомендации по ремонту диффузорных громкоговорителей в радиолюбительских условиях[1].

Материалы для ремонта. Ассортимент необходимых материалов невелик. Это: клей, бумага, провода для обмоток и выводов, припой, нитки, картон, текстолит и т. п.

Качество клея имеет важное значение для надежной работы громкоговорителя, так как он скрепляет между собой диффузор, центрирующую шайбу и звуковую катушку. Последняя, кроме того, при намотке пропитывается клеем, который должен надежно скреплять вит-

---

[1] Основные сведения и рецепты заимствованы из книги И. М. Болотникова «Громкоговорители для звукового кино» (Госкиноиздат, 1952).

ки между собой и каркасом. Клей должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Переход клея из жидкого в твердое состояние должен происходить за короткий срок без повышения температуры и давления на склеиваемые детали.

2. Механическая прочность клея должна обеспечиваться не образованием поверхностной твердой пленки, а одновременным застыванием всего слоя.

3. Переход из жидкого состояния в твердое не должен сопровождаться полной потерей эластичности.

4. Добавление растворителя в клей для изменения степени его разжижения не должно заметно сказываться на механических и электрических свойствах последнего.

5. После перехода в твердое состояние клей должен быть температуроустойчивым и негигроскопичным.

6. Должна быть обеспечена высокая электрическая надежность проклеенных деталей.

7. Должна быть обеспечена одинаковая механическая прочность шва на стыке различных материалов.

Этим требованиям лучше всего удовлетворяет нитроклей (раствор нитроцеллюлозы в специальном растворителе). Наиболее пригоден нитроклей марки АК-20, который легко разжижается любым растворителем для нитролаков (например, типа РДВ или № 646). Для полного высыхания, т. е. для приобретения нужных механических свойств, этот клей требует сушки в нормальных условиях (без подогрева и давления) в течение 18—24 *ч*. При отсутствии клея АК-20 можно применять клей БФ-2 или бесцветный цапон-лак.

Заменить готовый растворитель можно смесью из $^2/_3$ ацетона и $^1/_3$ амилацетата. Растворив в такой смеси целлюлозную пленку (кино-, фото- или рентгеновская пленка), можно получить нитроклей. Хотя такой клей и растворитель хуже специальных, но при ремонте громкоговорителей до 3—5 *ва* они могут применяться.

Следует предостеречь от применения всяких клеев типа бакелитовых, карбинольных, шеллачных и, конечно, от всяких суррогатных и других клеев, применяемых для столярных работ и склеивания бумаги; эти клеи непригодны даже для исправления дефектов в диффузорах. При мелком ремонте диффузоров и гофра допустимо применение обычного резинового клея.

Следующим по важности материалом для ремонта громкоговорителей является бумага. Необходимо располагать несколькими различными сортами бумаги.

Для изготовления каркасов звуковых катушек применяется кабельная бумага типа К-12 или пропиточная бумага толщиной 0,12 *мм*. Последняя имеет очень малый допуск по толщине (0,01 вместо ±0,07 *мм* для кабельной бумаги). Перед употреблением эту бумагу необходимо пропитать бакелитовым лаком. Для устранения мелких дефектов и разрывов в диффузорах и гофрах применяется диффузорная, фильтровальная или промокательная бумага толщиной 0,15—0,25 *мм*. Можно использовать и куски от старого негодного диффузора, предварительно расслоив их на две-три части. Для изготовления конуса диффузора применяют плотную бумагу типа ватман, а для менее мощных громкоговорителей (до 2—3 *ва*) — полуватман.

Намотка звуковых катушек производится медным обмоточным проводом с эмалевой лакостойкой изоляцией марки ПЭЛ. Номенклатура размеров проводов весьма небольшая, а потребность провода для одного громкоговорителя составляет 4—6 *м*. Использование для перемотки звуковой катушки старого провода от ремонтируемого громкоговорителя не рекомендуется. Применение провода с плохой или испорченной изоляцией приводит к образованию короткозамкнутых витков, совершенно недопустимых в звуковых катушках из-за резкого падения к. п. д. (отдачи) и изменения первоначальной частотной характеристики.

Для выводов звуковых катушек применяется специальный мишурный провод марки АТСКД. Можно применять и провода марок МГШД, МГШО и МГМ 20×0,05 или 15×0,07 (первое число — количество жил, второе — их диаметр). Допустимо также применение щеточного провода. Необходимо только следить за тем, чтобы в употребляемом куске провода все жилы были хорошо скручены или сплетены.

Для намотки катушек возбуждения применяются те же марки проводов. Можно использовать старый смотанный провод, если его изоляция не нарушена в результате сильного перегрева или механического повреждения.

Пайку проводов в громкоговорителях рекомендуется

производить оловянно-свинцовым припоем марки ПОС-60 или ПОС-40.

Моточные работы. Намотку звуковой катушки необходимо выполнять очень тщательно и аккуратно. Прежде всего следует, хорошо размочив растворителем старый клей, осторожно снять старую обмотку. На каркасе не должно оставаться кусочков клея; все его остатки нужно тщательно смыть растворителем. Если это окажется трудным или будет замечено, что звуковая катушка повреждена, то из соответствующей бумаги нужно сделать каркас заново строго по размеру старого каркаса. При этом недопустимо образование утолщающего шва, для чего склеиваемые концы бумаги утоньшают (тонкой шкуркой или бритвой) или делают склейку без шва. Сохранение первоначальных размеров весьма важно.

Каркас звуковой катушки склеивается на болванке; на ней же производится и намотка. Болванка вытачивается из эбонита или твердых пород дерева (дуб, бук и т. п.); ее внешний диаметр должен быть выполнен с максимально возможной точностью, а поверхность — хорошо обработана. Длина болванки должна значительно превышать высоту звуковой катушки. Для более удобного съема катушки болванку можно выполнить в виде полого цилиндра с толщиной стенки 1,5—2 *мм* и продольным разрезом (по образующей) шириной 1—2 *мм* (можно разрезать ее ножовкой). При такой конструкции болванки катушку можно легко снять, так как имеется возможность несколько сжать болванку по диаметру. При намотке во избежание возможности самопроизвольного сжатия болванки от давления провода в прорезь можно вставить полоску гетинакса или другого материала соответствующей толщины. После намотки эта полоска легко может быть удалена из прорези.

Намотку катушки следует производить проводом точно такого же диаметра (с изоляцией), как и у смотанного. Предварительно необходимо разметить на каркасе длину обмотки. Намотка катушки ведется непрерывно от начала до конца одним куском провода. Какие-либо соединения или спайки в звуковой катушке недопустимы. Намотав первый ряд (их обычно два), наносят на него тонкий слой клея. Чтобы клей хорошо покрыл всю обмотку, он должен быть жидким (густой клей образует

крупные капли и потеки). Даже свежий фабричный нитроклей должен быть разжижен вдвое. Степень разжижения определяется по характеру скатывания капли с кисти (капля должна отрываться сразу, не вытягиваясь).

После намотки концы провода закрепляются и вся поверхность обмотки покрывается ровным слоем клея. Наносить клей нужно мягкой кисточкой, все время вращая болванку. Чтобы избежать потеков, болванку необходимо после окончания проклеивания вращать еще 2—3 *мин*, чтобы дать клею немного застыть. Снимать звуковую катушку с болванки можно только через 45—60 *мин* после окончания намотки. При этом клей должен затвердевать в естественных условиях. Нельзя для ускорения процесса подогревать нитроклей; это вызовет ухудшение качества склейки. Чтобы предохранить возможное склеивание катушки с болванкой, последнюю перед намоткой смазывают жидким маслом (автол, машинное масло и т. п.), а после намотки удаляют растворителем клей, попавший с края каркаса на болванку. Съем катушки следует производить осторожно.

Намотка катушек возбуждения аналогична намотке силовых дросселей (для выпрямителей) и не требует соблюдения каких-либо особых приемов. При этом, как правило, необходимо сохранить первоначальные электрические данные обмотки (ее сопротивление и число витков). Для этого следует подобрать провод, точно соответствующий старому, или же использовать последний, если он хорошо сохранился и имеет немного обрывов (порядка четырех-пяти). В процессе намотки старым проводом нужно тщательно изолировать место спая оборванных концов и увеличить количество изоляционных прокладок между слоями обмотки. Для прокладок может применяться кабельная бумага К-08 (толщиной 0,08 *мм*), а также калька, вощанка, пергамент и т. п.

Ремонт диффузора и центрирующей шайбы. Мелкие повреждения диффузора, например трещины или небольшие отверстия, устраняются при помощи заплаты, наклеиваемой жидким клеем, концентрация которого должна быть такой же, как и для проклейки звуковой катушки. Клей наносится на рваные края отверстий и прилегающую к ним часть диффузора; края сближаются и тщательно приглаживаются. При очень малых

отверстиях и небольших трещинах, когда рваные края вплотную прилегают друг к другу, заплату можно ставить только с одной стороны; во всех других случаях ее ставят с обеих сторон. Вмятину вместе с прилегающей частью диффузора пропитывают клеем. При этом степень пропитывания должна уменьшаться к краям вмятины. Смятую вершину диффузора нужно тщательно и осторожно прогладить и также пропитать клеем.

Повреждения гофра в виде сквозных трещин или небольших отверстий устраняют таким же образом; следует только применять более тонкую бумагу и следить, чтобы заплата нигде не нарушала профиля гофра. Иногда происходит провисание гофра из-за несовершенства

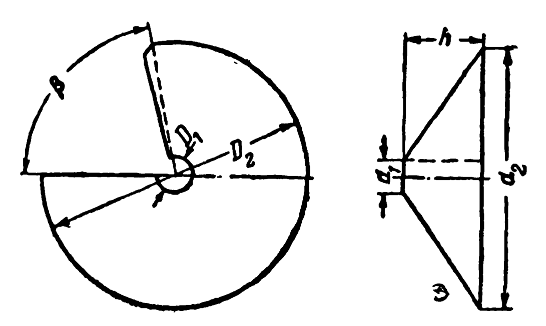


Рис. 49. Заготовка для конуса диффузора.

его профиля или хранения громкоговорителя в сыром месте. При этом гофр несколько распрямляется, но так как один его край закреплен на диффузородержателе, происходит смещение второго края и диффузор опускается, вызывая тем самым значительное смещение звуковой катушки в зазоре, что вызывает в свою очередь уменьшение к. п. д. и увеличение искажений.

Попытаться исправить такой дефект можно следующим путем. Под центрирующую шайбу подкладывают вату так, чтобы звуковая катушка установилась в нормальное положение, затем смачивают весь гофр теплой водой и просушивают его в теплом месте (например, на батарее центрального отопления или возле печки). Убрав вату и убедившись в неизменности положения звуковой катушки, включают громкоговоритель. Если после нескольких дней работы громкоговорителя положение звуковой катушки в зазоре не изменится, то зна-

чит ремонт прошел успешно. Однако иногда подобным путем восстановить громкоговоритель не удается, и тогда приходится заменять весь гофр.

Если диффузор очень сильно поврежден, то необходимо сменить его конус. Следует заметить, что в более мощных громкоговорителях (3—5 *ва* и выше) такая смена, как правило, приводит к ухудшению параметров (главным образом частотной характеристики).

Чтобы изготовить новый конус, прежде всего из соответствующей бумаги делают заготовку, представляющую собой круг с вырезанным сектором (рис. 49). Размеры заготовки зависят от основных размеров заменяемого диффузора и рассчитываются по следующим формулам (обозначения — по рис. 49):

$$D_1 = kd_1; \ D_2 = kd_2.$$

Значение k, выражающее отношение соответствующих диаметров заменяемого диффузора и заготовки, берется из табл. 6, составленной для диффузоров с углом раскрытия $\alpha = 100 \div 120°$, причем исходной величиной является отношение разности диаметров основания и вершины $d_1—d_2$ к высоте h. Для других углов раскрытия k может быть вычислено по формуле

$$\frac{1}{k} = \sin\frac{\alpha}{2},$$

а отношение

$$\frac{d_1 - d_2}{h} = 2\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2}.$$

Угол вырезаемого сектора β определяется следующим выражением:

$$\beta = 360\left(1 - \frac{1}{k}\right).$$

Вырезанную заготовку склеивают, и полученный таким образом диффузор покрывают с обеих сторон нитролаком. Затем к вершине диффузора приклеивают звуковую катушку и центрирующую шайбу, а к его основанию — гофр старого громкоговорителя. В месте склейки нового диффузора и гофра ширина наложенных друг на друга конусных поверхностей (от основания нового конуса до линии отреза на старом диффузоре) должна составлять не менее 5—8 *мм*. При сильном по-

Таблица 6

Значения величин, необходимых для получения размеров заготовки (к рис. 49)

$\alpha°$	$\frac{d_2-d_1}{h}$	$k=\frac{D}{d}$	$\beta°$	$\alpha°$	$\frac{d_2-d_1}{h}$	$k=\frac{D}{d}$	$\beta°$
100	2,38	1,305	84	112	2,96	1,206	61,5
102	2,47	1,287	80	114	3,08	1,195	58,5
104	2,56	1,269	76	116	3,20	1,179	55
106	2,66	1,252	72,5	118	3,32	1,167	51,5
108	2,75	1,236	69	120	3,46	1,155	48,5
110	2,86	1,221	65				

вреждении старого гофра вместо него можно применить кольцевые полоски замши (целое кольцо или три-четыре сектора) или другой подходящий материал (текстиль, дерматин, клеенка).

Центрирующие шайбы наименее подвержены повреждениям, однако если они имеют надколы, трещины, провисания или покороблены, то их необходимо сменить. При повреждении фигурной шайбы, выполненной из картона или текстолита в виде «паука» или крестовины, нетрудно по старой шайбе сделать новую, подобрав, конечно, надлежащий материал. Хуже, когда повреждена бумажная литая или текстильная бакелизированная шайба. Такую шайбу при незначительных повреждениях (трещины или небольшие разрывы) можно заклеить так же, как это делается с гофром. При больших повреждениях ее придется заменить фигурной шайбой, изготовленной из текстолита или картона по какому-нибудь образцу, с соответствующими размерами.

1. Основные данные диффузорных громкоговорителей

Тип громкоговорителя	Номинальная мощность, *ва*	Номинальный диапазон частот, *гц*	Резонансная частота подвижной системы, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Среднее стандартное звуковое давление, *дин/см²*	Полное сопротивление звуковой катушки, *ом*	Габариты громкоговорителя, *мм*	Тип магнита и материал	Вес магнита, *г*	Диаметр керна, *мм*	Индукция в зазоре, *гс*	Вес громкоговорителя, *г*
0,25ГД-1	0,25	300—3 000	300±30	18	2	8±0,8	⌀ 72×34	Керновой АНКО-4	18	12	6 000	70
0,5ГД-10	0,5	150—7 000	150±30	14	2,3	5±0,5	⌀ 105×50	То же	40	12	7 000	150
0,5ГД-11	0,5	150—7 000	150±30	14	2,3	5±0,5	⌀ 105×35	Кольцевой МБА	40	12	7 000	150
0,5ГД-12	0,5	150—7 000	150±30	14	3	5±0,5	⌀ 105×36	То же	80	12	9 000	250
1ГД-5	1	150—6 000	120±20	15	2	6,5±0,7	⌀ 126×50	Кольцевой АЛНИ	150	17	5 000	370
1ГД-6	1	100—6 000	100±10 140±10	15	3	6,5±0,7	⌀ 126×63	То же	340	17	7 300	600
1ГД-9	1	100—7 000 200—10 000	95±15 150±30	14	2,5	6,5±0,7	156×98×56	Керновой АНКО-4	50	17	7 000	250
1ГД-11	1	150—7 000	120±20	15	2	8±0,8	⌀ 126×45	Кольцевой МБА	80	17	6 500	300
1ГД-12	1	200—10 000	175±15	14	2,5	5±0,5	156×98×41	То же	40	12	7 000	200
1ГД-14	1	150—10 000	150±30	14	2,5	5+0,5	⌀ 126×45	» »	40	12	7 000	180
2ГД-3	2	70—10 000	80±15 100±10	14	2,5	4,5±0,5	⌀ 152×69	Керновой АНКО-4	70	20	7 000	400

Продолжение

Тип громкоговорителя	Номинальная мощность, *ва*	Номинальный диапазон частот, *гц*	Резонансная частота подвижной системы, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Среднее стандартное звуковое давление, *дин/см²*	Полное сопротивление звуковой катушки, *ом*	Габариты громкоговорителя, *мм*	Тип магнита и материал	Вес магнита, *г*	Диаметр керна, *мм*	Индукция в зазоре, *гс*	Вес громкоговорителя, *г*
2ГД-4	2	70—10 000	80±15 100±10	14	2,3	5±0,5	⌀ 152×54	Кольцевой МБА	80	17	6 500	300
3ГД-2	3	80—6 000	80±10	15	3	4±0,6	⌀ 202×100	Кольцевой АЛНИ	350	25	6 000	1 200
3ГД-7	3	80—7 000	90±10	14	2,5	4,5±0,5	204×134×77	Керновой АНКО-4	100	25	7 500	650
3ГД-9	3	80—7 000	80±10	14	2,5	±0,5	204×134×65	Кольцевой МБА	200	25	7 500	900
4ГД-1	4	60—12 000	60±10 80±10	14	2,5	4,5±0,5	⌀ 202×100	Керновой АНКО-4	100	25	7 500	600
4ГД-2	4	60—12 000	60±10	14	2,5	5±0,5	⌀ 202×80	Кольцевой МБА	200	25	7 500	900
5ГД-10	5	50—12 000	50±10	15	3	4,5±0,5	⌀ 252×126	АЛНИ	700	25	9 000	1 700
5ГД-14	5	70—12 000	70±10 90±10	14	2,5	4,5±0,5	254×170×100	Керновой АНКО-4	100	25	7 500	700
10ГД-17	10	40—8 000	50±10	14	3	4,5±0,5	⌀ 295×140	Кольцевой АЛНИ	700	30	7 500	1 500
10ГД-18	10	50—8 000	50±10	12	3	8±0,8	324×212×128	АЛНИ	700	30	7 500	2 000
ВГД-1 (3ГДВ-1)*	3	800—15 000	270±30	15	2,5	5±0,5	⌀ 105×64	Керновой АНКО-4	65	12	9 000	230

* Вариант ВГД-2 (3ГДВ-2) имеет номинальный диапазон частот от 1 до 18—20 *кгц*.

2. Основные данные звуковых колонок, радиальных и рупорных громкоговорителей

Тип громкоговорителя	Головки: Тип	Головки: Количество	Номинальная мощность, *ва*	Диапазон частот, *гц*	Неравномерность частотной характеристики, *дб*	Среднее звуковое давление на расстоянии 1 *м* при номинальной мощности, *дин/см²*	Перепад „фронт"—„тыл", *дб*	Полное сопротивление (*ом*) на частоте 1 000 *гц* при напряжении, *в*: 30	120	240	Габариты громкоговорителя, *мм*: ширина	глубина	высота	Вес (без крепления), *кг*
8КЗ-1	2ГД-3	4	8	180—6 000	15	27	8	112	1 800	—	185	110	830	6,5
8КЗ-2	2ГД-3	4	8	180—6 000	15	27	8	112	1 800	—	200	130	780	6
10КЗ-1	2ГД-3	8	10	120—8 000	15	25	10	90	1 440	5 760	300	220	750	15
10КЗ-2	2ГД-3	8	10	120—8 000	15	25	10	90	1 440	5 760	365	255	775	10
25КЗ-1	4ГД-1	8	25	100—8 000	15	40	10	36	576	2 300	360	310	870	19
25КЗ-2	4ГД-1	8	25	100—8 000	15	40	10	36	576	2 300	415	325	860	20
50КЗ-1	10ГД-20	6	50	100—8 000	15	56	10	18	288	1 150	525	350	1 160	40
50КЗ-2	10ГД-20	6	50	100—8 000	15	56	10	18	288	1 150	580	385	1 160	40
20КЗН-1	2ГД-3	12	20	140—6 000	15	2,2*	—	45	—	—	265	230	800	15
40КЗН-1	5ГД-14	9	40	100—8 000	15	2,5*	—	22,5	—	—	330	280	920	20
10ГДН-1	4ГД-1	4	10	80—8 000	15	22	—	90	1 440	5 760	Ø 620×520			12
25ГДН-1	10ГД-20	4	25	80—8 000	15	40	—	36	576	2 300	Ø 740×677			24
ДГР-25	1 (НЧ) и 3 (ВЧ)	—	25	150—5 000	20	38	—	—	576	2 300	Ø 850×700			50
10ГРД-5	—	1	10	200—4 000	15	120	—	90	1 440	5 760	Ø 400×485			7
25ГРД-1	25ГД-1	1	25	100—6 000	15	125	—	36	576	2 300	700	180	730	15
25ГРД-2	25ГД-1	1	25	120—5 000	15	160	—	36	576	2 300	Ø 400×720			15
50ГРД-8	50ГД-1	1	50	120—5 500	15	220	—	18	288	1 150	Ø 400×720			18
50ГРД-9	25ГД-1	2	50	100—6 000	15	335	—	18	288	1 150	860	720	1 220	25
100ГРД-1	50ГД-1	2	100	120—5 500	15	475	—	9	144	576	860	720	1 220	35
Р-100	—	2	100	200—3 000	20	380	—	—	144	576	Ø 610×1 000			40

* Так как излучатель ненаправленный, дается значение среднего стандартного звукового давления (на расстоянии 1 *м* при мощности 0,1 *ва*).

Цена 20 коп.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ СЛЕДУЮЩИЕ ВЫПУСКИ:

Г. П. Грудинская, Распространение ультракоротких волн (издание второе, переработанное), 104 стр., тираж 50 000 (1-й завод 15 000 экз.), ц. 23 коп., вып. 382.

А. М. Бройде и Ф. И. Тарасов, Справочник по электровакуумным и полупроводниковым приборам, 256 стр., тираж 150 000 (1-й завод 5 000 экз.), ц. 74 коп., вып. 383.

И. Я. Брейдо, Ламповые усилители сигналов постоянного тока, 87 стр., тираж 50 000 (1-й завод 10 000 экз.), ц. 20 коп., вып. 384.

Г. Б. Богатов, Как было получено изображение обратной стороны Луны, 64 стр., тираж 50 000 (1-й завод 20 000 экз.), ц. 14 коп., вып. 385.

С. Е. Загик и Л. М. Капчинский, Приемные телевизионные антенны, 128 стр., тираж 140 000 (1-й завод 5 000 экз.), ц. 27 коп., вып. 386.

С. А. Ельяшкевич, Устранение неисправностей в телевизоре, 208 стр., тираж 225 000 (1-й завод 5 000 экз.), ц. 43 коп., вып. 387.

А. И. Зиньковский, Радиотехника и космические полеты, 48 стр., тираж 38 000 экз., ц. 12 коп. вып. 388.

Е. К. Сонин, Портативный магнитофон на транзисторах, 32 стр., тираж 80 000 экз., ц. 7 коп., вып. 392.

Ю. Д. Пахомов, Зарубежные магнитофоны, 168 стр., тираж 45 000 экз. ц. 36 коп., вып. 393.

Справочник радиолюбителя под общей ред. **А. А. Куликовского**, 3-е издание, 500 стр. (большой формат), тираж 200 000 (1-й завод 40 000 экз.), ц. 3 р. 27 к., вып. 394.

В. Ф. Самойлов, Синхронизация генераторов телевизионной развертки, 96 стр., тираж 65 000 экз., ц. 19 коп., вып. 395.

А. Я. Глиберман и А. К. Зайцева, Кремниевые солнечные батареи, 72 стр., тираж 35 000 экз., ц. 15 коп., вып. 396.

ПЕЧАТАЮТСЯ

Е. М. Мартынов, Бесконтактные переключающие устройства.

М. Д. Ганзбург, Улучшение звучания радиоприемника.

В. Е. Зотов, Радиолюбительские карманные приемники на транзисторах.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ заказов на книги не принимает и книг не высылает. Книги, выходящие массовым тиражом, высылают наложенным платежом без задатка отделения «Книга-почтой».

ЗАКАЗЫ можно направлять: г. Москва, В-218, 5-я Черемушкинская ул., 14, Книжный магазин № 93 «Книга-почтой».

РЕКОМЕНДУЕМ заказывать литературу только по плану текущего года. Книги Массовой радиобиблиотеки расходятся очень быстро, и поэтому выпуски прошлых лет давно уже все распроданы.

ВЫСЫЛКУ КНИГ наложенным платежом производит также **магазин технической книги № 8 «Книга-почтой», Москва, Петровка, 15.**